



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN,
ESPECIALIDAD EN SONIDO E IMAGEN

Título del proyecto:

ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Ana Blanca Fernández Losantos

Francisco Javier Falcone Lanas

Pamplona, 25-07-2012

ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Contenido

1. INTRODUCCION	4
1.1 MOTIVACION	4
1.2. OBJETIVO	4
1.3. ESTRUCTURA	4
2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVILES	6
2.1. LAS COMUNICACIONES MÓVILES.....	6
2.1.1. DESCRIPCION SISTEMA TACS.....	6
2.1.2. SERVICIOS DEL TACS.....	8
2.1.3 ESPECIFICACIONES RADIOELÉCTRICAS DEL TACS.....	8
2.1.4. ARQUITECTURA DE LA RED TACS	12
2.1.5 PLANIFICACIÓN E INGENIERIA DEL SISTEMA TACS	15
2.2. ESTADO ACTUAL DE LA TÉCNICA.....	20
2.2.1 PANORAMA GENERAL DE GSM	20
2.2.2 GPRS	30
2.2.3 UMTS	31
2.3 HSDPA.....	43
3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL	48
3.1 CANALES DE PROPAGACION RADIO.....	48
3.1.1 MECANISMOS DE PROPAGACIÓN	48
3.1.2 MULTITRAYECTO Y DESVANECIMIENTO	49
3.1.3 ATENUACIÓN POR PROPAGACIÓN Y DIFERENTES ENTORNOS	53
4. RECOGIDA DE DATOS PARA EL ESTUDIO DE ESTACIONES BASE	57
4.1. BALANCE DE ENLACE.....	57
4.1.1. POTENCIA RECIBIDA	57
4.1.2. PERDIDAS.....	66
4.1.3 ESQUEMAS DE RADIO FRECUENCIA	72
4.2 TOPOLOGIA.	78
4.2.1 DESCRIPCION TERRENO.....	78
4.2.2 DESCRIPCION DE LA PROGRAMACION.....	83
5. DESCRIPCIÓN, PÉRDIDAS Y COBERTURA DE PAMPLONA.....	87
5.1 PAULINO CABALLERO.....	87
5.2 CORTES.	96



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

5.3 CASINO	111
5.4 ESLAVA.	125
5.6. MAISSONAVE.....	139
5.6. TUDELA.....	152
6. TOMA DE DECISIONES.	166
6.1. MEJORAS EN PAULINO CABALLERO	166
6.2. CORTES	167
6.3. CASINO	171
6.4. ESLAVA	176
6.5. MAISSONAVE.....	176
6.6. TUDELA.....	179
7. CONCLUSIONES	179
8. BIBLIOGRAFIA	182



1. INTRODUCCION

La finalidad de este Proyecto es el estudio del comportamiento de las ondas electromagnéticas emitidas por una estación base hacia una estación móvil dentro de un entorno urbano. El modelo de propagación utilizado dentro de las frecuencias de 900MHz hasta 2100MHz por las operadoras de telefonía móvil es el COST 231, en su versión Walfisch-Ikegami.

1.1 MOTIVACION

A pesar de no haber estudiado estos temas en la carrera me pareció interesante la realización de este proyecto para poder ampliar mis conocimientos sobre telefonía móvil. De este modo he podido ampliar mi horizonte de conocimientos en el ámbito de las telecomunicaciones móviles.

1.2. OBJETIVO

Estudio del canal de comunicación entre la estación base de telefonía móvil y el teléfono móvil receptor, en un entorno urbano, con la finalidad de determinar los radios de cobertura en Pamplona, mediante técnicas empíricas. Así como, estudiar las características propias de cada estación y la cartografía derivada de cada sector para estimar la cobertura.

1.3. ESTRUCTURA

LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVILES

Después de establecer los objetivos del proyecto este continúa con una retrospectiva sobre los sistemas de telefonía móvil, y como a lo largo del tiempo se han ido implantando nuevos sistemas que han desbancado a los existentes en aquel momento.

Se define el sistema de primera generación utilizado en España, también conocido como telefonía móvil analógica, explicando sus principales características y servicios. Se continúa con el desarrollo de las tecnologías hasta el estado actual, donde se especifican los sistemas que conviven en la actualidad, sus principales características y las mejoras que introducen respecto al anterior.

TEORIA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

El tercer capítulo se basa en la teoría de la planificación de una red de telefonía móvil, este capítulo se desglosa en varios apartados. El primero de ellos aborda los mecanismos de propagación radio. A continuación se explican las principales características de los principales elementos físicos que intervienen en la comunicación entre transmisor y receptor. En este mismo apartado se continúa con la planificación de la red, nos adentramos en las distintas fases que constituyen la planificación de la red, las interacciones necesarias entre los distintos departamentos, los datos previos y los requisitos del cliente son aspectos fundamentales en este apartado. Para concluir dicho capítulo se continúa con la explicación de los principales aspectos de la planificación radio y de transmisión.

RECOGIDA DE DATOS PARA EL ESTUDIO DE ESTACIONES BASE

El cuarto capítulo tiene como finalidad la recopilación de los datos necesarios para implementar el método COST 231.

Para esto se necesitará saber los diferentes equipos, elementos auxiliares y cableados necesarios para la emisión y recepción en una estación de telefonía, las pérdidas que nos proporcionaran estos y el medio urbano y por último determinaremos los parámetros relativos al método COST 231.

DESCRIPCION, PÉRDIDAS Y COBERTURA DE PAMPLONA

Se realiza el estudio en profundidad de cada estación situada en el núcleo urbano de Pamplona. Se centra el estudio en un operador en concreto. En este estudio incluiremos todos los detalles físicos de la estación, así como los resultados de las pérdidas y sensibilidad, mostrando los niveles de cobertura existentes para las tres tecnologías (GSM, DCS y UMTS), si es que existen.

TOMA DE DECISIONES

En este capítulo se decide, si el criterio seguido por el planificador a la hora de diseñar la estación ha sido el adecuado, o si por el contrario se podría mejorar. Si se entiende que se puede mejorar se realiza una propuesta y se observa lo que ocurre.

CONCLUSIONES

Describiremos las resoluciones tomadas después del estudio realizado.

BIBLIOGRAFIA

Material utilizado para el estudio.



2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVILES

En este capítulo se analizará la evolución de las comunicaciones móviles desde la primera generación hasta los sistemas existentes en la actualidad: GSM, DCS Y UMTS. Aunque las comunicaciones móviles analógicas desaparecieron en España en 2007 se comienza explicando brevemente sus bases y funcionamiento, porque con ello será más fácil comprender las características y funcionamiento de las tecnologías posteriores.

2.1. LAS COMUNICACIONES MÓVILES

Este capítulo introductorio, se centra en el pasado de las comunicaciones móviles en España, que adoptó la misma tecnología que se implantó en el resto de Europa. El primer sistema de comunicaciones móviles público que operó en España fue el TACS (Total Access Communication System). TACS engloba a todas aquellas tecnologías de comunicaciones móviles analógicas. El sistema TACS es un sistema de comunicaciones para telefonía móvil celular dúplex en la banda de 900 MHz, con capacidad para transmitir voz pero no datos.

El precursor del sistema TACS fue el sistema AMPS (American Mobile Phone System), desarrollado en la década de los 70 por los laboratorios Bell y puesto en servicio en la primera mitad de la década de los 80. Posteriormente, el sistema AMPS fue adaptado a los requisitos europeos por el Reino Unido (en especial, en lo que respecta a bandas de frecuencia y canalización) y puesto en servicio en 1985 con el nombre de sistema TACS.

Dado que el estándar TACS sólo define el protocolo de acceso radio entre una estación móvil y su correspondiente estación base, y no cubre aspectos relativos a la gestión de la movilidad, surgieron toda una serie de estándares diferentes en diversos países: NTT-MTS (Japón), MNT (Escandinavia) y C450 (Alemania), con los correspondientes problemas de incompatibilidades. El único proveedor de este sistema en España, conocido comercialmente como "Moviline", fue Telefónica. Este sistema desapareció definitivamente en el año 2007.

2.1.1. DESCRIPCION SISTEMA TACS



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

El TACS es un sistema de telefonía móvil pública que constituye una red PLMN (Public Land Mobile Network) de primera generación con cobertura nacional. La norma TACS desarrollada en el Reino Unido, deriva del estándar AMPS de Estados Unidos, habiéndose adaptado las bandas de frecuencias y canalización a la normativa europea. El sistema funciona en la banda de 900 MHz y dispone de una anchura de banda que proporciona 1320 canales dúplex. Se ha diseñado básicamente para la transmisión de voz, por la interfaz radio, de forma analógica, empleándose modulación de frecuencia (FM) con gran desviación. Además, para conseguir una buena calidad de voz, se realiza un procesado de señal consistente en la compresión/expansión silábica.

La transmisión de la señalización por la interfaz radio es digital, utilizándose modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) y codificación con detección y corrección de errores. La estructura del sistema es celular clásica, con disposiciones básicas de grupos de reutilización de 12 células para cobertura omnidireccional y de 7 en caso de cobertura sectorizada. Se mejora la resistencia a las interferencias mediante el uso de tonos de supervisión que acompañan a la señal telefónica y que se utilizan también para la función de traspaso (handover⁴).

Los radios celulares varían desde los 30 Km. para la cobertura de zonas rurales y carreteras empleando un terminal sobre vehículo, hasta 1 Km., aproximadamente, para la cobertura de áreas urbanas con gran intensidad de tráfico, utilizando estructuras celulares sectorizadas y terminales portátiles. En este caso se controlan las interferencias derivadas de la mayor reutilización de las frecuencias mediante direccionalidad de la transmisión y el empleo de potencias reducidas.

El sistema permite el control de la potencia de emisión de la estación móvil. Para ello la estación base (EB) mide el nivel de señal recibida y, si este es intenso, ordena al móvil, por el canal de señalización que disminuya la potencia. Así se reduce el potencial de interferencia y se prolonga la duración de la batería de los terminales.

Se incorporan ciertos aspectos de seguridad como son la posibilidad de cifrar las comunicaciones por la interfaz radio y el requisito de identificación de los terminales cada vez que realizan un acceso al sistema. De este modo, si un usuario notifica al operador que su terminal se ha extraviado o ha sido sustraído, la red impedirá cualquier tentativa de llamada realizada desde ese terminal.

La señalización de línea es del tipo de canal común, empleándose es SS7 (Sistema de Señalización Nº 79 del ITU-T que proporciona una gran cantidad de los mensajes de señalización y permite gran número de servicios suplementarios. Cada EB proporciona dos clases de canales: un canal de control o señalización denominado CCH (Control Channel) o SIG (Signalling Channel) y canales de tráfico, designados por TCH (Traffic Channel). El primero se emplea para la transferencia de información de señalización con los móviles necesaria para la localización y registro, aviso, mantenimiento de llamadas, etc.... Los TCH se utilizan para la transmisión de voz. Aunque *handover* sea un anglicismo, en este texto se utiliza este término para referirse al traspaso entre celdas.



2.1.2. SERVICIOS DEL TACS

El TACS ofrecía un amplio abanico de servicios gracias a su avanzado sistema de Señalización:

- TELEFONÍA BÁSICA, de calidad similar a la PSTN, con baja probabilidad de bloqueo y un tiempo de establecimiento de las llamadas reducido.
- TRANSMISIÓN DE DATOS, equipando al teléfono móvil con un módem adecuado.
- SERVICIOS SUPLEMENTARIOS telefónicos tales como:

Contestador automático/ buzón.

Llamada en espera

Desvío de llamadas

Conferencia pluripartita

Mensajes orales

Asistencia de operadora

Información de tarificación.

2.1.3 ESPECIFICACIONES RADIOELÉCTRICAS DEL TACS

2.1.3.1 BANDAS DE FRECUENCIA

El sistema TACS comenzó a funcionar en unas bandas de frecuencias (bandas TACS) que, posteriormente, se han reservado para el sistema GSM. Por ello no se ha habilitado toda la banda inicialmente prevista, lo cual, unido a las exigencias de tráfico, requirió el empleo de una banda adicional denominada E-TACS (extended TACS). Se utilizan ambas bandas, las cuales estas divididas en sub-bandas para transmisión y recepción, como se indica en la tabla siguiente [Tabla 2.1], con referencia a las estaciones base.



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

	Banda TACS	Banda E-TACS
Transmisión (MHz)	935-950	917-935
Recepción (MHz)	890-905	872-890

Tabla 2.1: Tabla bandas de frecuencia de sistemas TACS y E-TACS

La separación de canales es de 25KHz. Las asignaciones de frecuencia están desplazadas del valor central nominal en 12,5 KHz. y se designan mediante un número entero N denominado número de canal, que indica la frecuencia de transmisión de la estación base. Los canales TACS son numerados correlativamente de 1 a 600 y los ETACS de 1329 a 2047. Por consiguiente si $F_{tx}(N)$ y $F_{rx}(N)$ son las frecuencias de transmisión/ recepción de la estación base de canal N, se tendrá:

Para la banda TACS:

$$F_{tx}(N)=0.025(N-1)+935.0125 \quad 1 \leq N \leq 600 \quad (1)$$

$$F_{rx}(N)= F_{tx}(N) - 45$$

Para la banda E-TACS:

$$F_{tx}(N)=0.025(N-1329)+917.0125 \quad 1329 \leq N \leq 2047 \quad (2)$$

$$F_{rx}(N)= F_{tx}(N) - 45$$

El radiocanal 934,9875-889,9875 MHz se designa como canal 0. El total de radiocanales disponibles es de 1320 (incluido el cero) de los cuales se reservan 21 para señalización y el resto para tráfico.



2.1.3.2 POTENCIA DE TRANSMISIÓN

Las estaciones base tienen una potencia de equipo ajustable en función de los requisitos de cobertura y balances de enlaces. El valor máximo de la PRA es de 100 W aproximadamente.

Para las estaciones móviles se han establecido según su categoría, los niveles máximos de potencia que se indican en la siguiente tabla [Tabla 2.2]. Debido al control de potencia el nivel puede variar entre esos valores máximos y un mínimo de -22 dBW

Categoría de MS	PRA Nominal	Potencia de Equipo (supuesta Gd=1,5 dB)
Clase 1	10 dBW (10 W)	8,5 dBW (7 W)
Clase 2	6 dBW (4 W)	4,5 dBW (2,8 W)
Clase 3	2 dBW (1,6 W)	0,5 dBW (1,1 W)
Clase 4	-2 dBW (0,6 W)	-3,5 dBW (0,45 W)

Tabla 2.2 Niveles máximos de potencia

El margen de control de potencia es 32 dB para terminales sobre vehículo y 20 dB para equipos portátiles.

2.1.3.3 MODULACIÓN

Para las señales telefónicas, con una banda de base de 300 a 2500 Hz, la modulación es FM analógica, con una desviación de frecuencia de cresta de $\pm 9,5$ kHz. Por lo siguiente, la anchura de la banda de RF es:

$$B=2(9,5 +2,5) =24 \text{ Khz.}$$

(3)



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Este elevado valor de la desviación de frecuencia proporciona una calidad de voz superior a la que brindan los sistemas móviles convencionales, pero a costa de mayor anchura de banda de RF que produce un incremento de la potencia en el canal adyacente. En la figura siguiente [Figura 2.1] se representa el galíbo típico del canal de RF. En ordenadas se representa la atenuación relativa al nivel de portadora para las separaciones de frecuencias indicadas en abscisas también respecto de la frecuencia portadora.

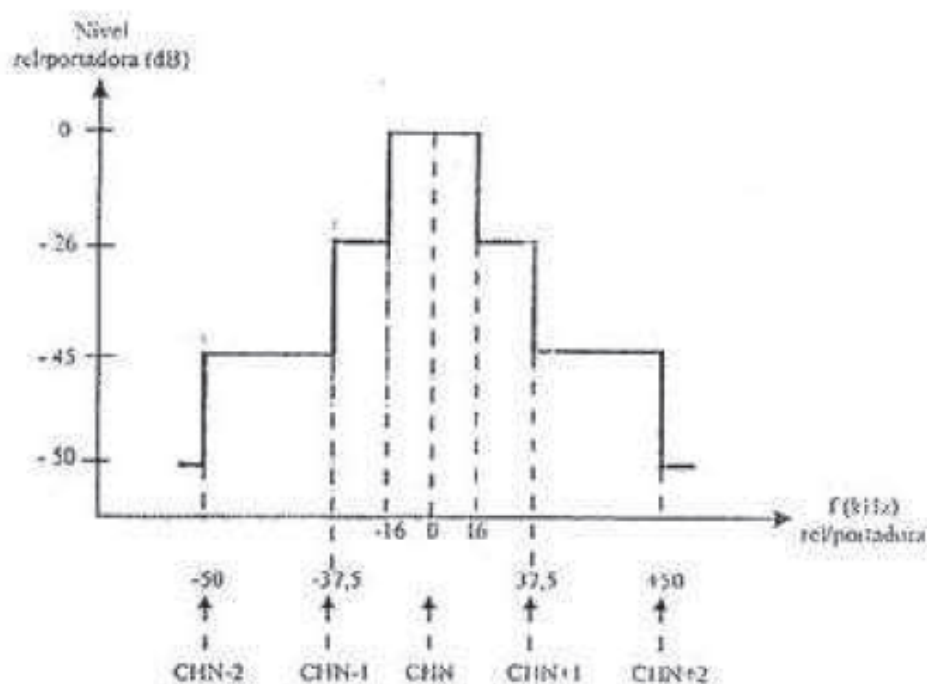


Figura 2.1 Galíbo típico del canal RF

Se observa que hay solapamiento con los canales adyacentes, por lo cual los planes celulares de frecuencia en TACS deben ser tales que no asignen canales adyacentes dentro de la misma célula.

2.1.3.4 SEÑALIZACIÓN

La señalización asociada a la llamada es fuera de banda. Se utiliza con cada llamada, para supervisión, uno de los tres tonos de 5.970-6.000-6030 Khz. que modulan en frecuencia la portadora con una desviación de $\pm 1,7$ Khz. Asimismo, en ciertas fases de la llamada, se emplea el llamado *tono de señalización ST (signalling tone)* de 8 Khz. Que se transmite con una



desviación de frecuencia de ± 2 KHz. Como esta señalización va por canales de tráfico debe utilizar modulación analógica.

La transmisión de señalización por los canales SIG es de naturaleza digital. Se utiliza en banda base una codificación Manchester para facilitar la sincronización de bit. La modulación es FSK, con una velocidad de 8 kbits/s y una desviación de frecuencia de $\pm 6,5$ KHz.

2.1.3.5 EQUIPO RADIO

Las características básicas del equipo radio son: Tolerancia de frecuencia $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ para la EB y $\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$ para la MS (Terminal móvil). Los móviles deberán poder sintonizar todos los canales de las bandas TACS y ETACS.

Es conveniente el empleo de diversidad de recepción en la estación base para favorecer las comunicaciones del enlace ascendente. La sensibilidad de los receptores es igual a - 116 dBm para una relación SINAD de 12 dB con ponderación sofométrica.

2.1.4. ARQUITECTURA DE LA RED TACS

La red TACS está constituida por las siguientes entidades básicas que se describen en orden jerárquico descendente:

Centrales de conmutación de servicio móvil: MSC. Denominadas también MTSO (Mobile Telecommunications Switching Offices), que están unidas por una parte a la red PSTN y por otra a las estaciones base EB.

Unidades de conmutación remota: RSU (Remote Switching Units). Son elementos intermedios de conexión de las EB con las MSC que se utilizan para los circuitos de tráfico, por conveniencia de encaminamiento. Las RSU no pueden intercambiar señalización con las EBs. Toda RSU depende de una MSC “tutora” y está controlada por ella.

Estaciones Base: EB o en ingles BS (Base Estation). Se entiende por estación base el conjunto de equipos situados en una misma ubicación y que constituye la frontera de la interfaz radio o interfaz aérea AI (Air Interface) para el enlace con los móviles. Dentro de la BS deben distinguirse el controlador BSC (Base Station Controller) y los equipos transceptores de radio BTS (Base Transceivers).



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

En asociación con las entidades de arquitectura se definen las siguientes áreas funcionales:

Área de central, que es la superficie territorial controlada por una MSC.

Área de localización, que es la zona donde puede ser localizada y avisada una MS

Área de estación base/célula que corresponde a la zona de cobertura de una estación de base o célula, respectivamente. El área de EB no siempre es igual a la suma de áreas de células ya que las coberturas de células suelen tener cierto solapamiento mutuo.

La MSC ejecuta funciones propias de conmutación de la red móvil y realiza los encaminamientos hacia/ desde la PSTN. Dispone de unos registros o bases de datos denominadas HLR (Home Location Register) y VLR (Visitor Location Register).

Las MSC de una red TACS están interconectadas entre sí y con la PSTN mediante enlaces PCM (Pulse Code Modulation) de 2 Mbits/s. También tienen enlaces PCM de voz y señalización con las BS y las RSU y disponen, así mismo, de circuitos analógicos locales para enlaces de prueba.

Para la BS han de preverse tantos circuitos a 4 hilos como canales de tráfico haya en la estación más un enlace (duplicado) para señalización. Los encaminamientos entre la MSC y sus BS y la PSTN suelen hacerse por diversidad de rutas para mayor seguridad. Todo el conjunto de enlaces entre las MSCs y la PSTN de una parte y las RSU y BS de otra se denomina genéricamente 'red fija' y requiere un minucioso estudio de dimensionamiento y seguridad de funcionamiento.

El HLR, registro de abonados domésticos, contienen los datos de los usuarios asignados a esa MSC en el momento del abono en función de su lugar de residencia. Aquí figuran, entre otros, el número de teléfono móvil del abonado, identificación de su terminal, tipo de abono, etc...

El VLR contiene los datos de los usuarios visitantes o transeúntes en la zona controlada por la MSC en cuestión. Cuando un abonado se registra como transeúnte en una MSC distinta de la habitual, porque se ha desplazado a otra localidad, la información de ese registró se transfiere y se copia en su HLR. Cualquier llamada dirigida al abonado se encamina al HLR. Analizando la información disponible en el HLR se sabe si el destinatario está en la zona de su MSC o es visitante de otra, en cuyo caso se reencaminará la llamada a la MSC visitada para su transferencia final al abonado.

Además de la localización y registro de los abonados, la MSC realiza también la asignación y gestión de los canales radio y coordina el traspaso de llamadas entre células de una misma BS, entre BS dependientes de ella o entre una BS suya y otra BS dependiente de cualquier MSC:



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Por último, la MSC ejecuta importantes funciones relacionadas con la explotación como las de tarificación, generación de alarmas, diagnósticos, producción de estadísticas de tráfico y comunicación hombre-máquina.

Las principales funciones de las BS, estaciones base, son:

Control de la interfaz radio.

- Recogida de datos de localización.
- Control de móviles.
- Retransmisión, con cambio de formato, de los mensajes de señalización.

Asignación de los tonos de supervisión de audio.

Y por último, las funciones que las estaciones móviles tienen encomendadas son las siguientes:

- Selección del canal de control.
- Sintonización de los canales de tráfico.
- Marcación y aviso.
- Generalización del tono de señalización.

2.1.5 PLANIFICACIÓN E INGENIERIA DEL SISTEMA TACS

En este apartado se explican los parámetros básicos de planificación y diseño de la interfaz radio del sistema TACS que son elegibles por el ingeniero. También se comentará brevemente algunas de las características fundamentales de ingeniería de estaciones base y sistemas radiantes. Nos ocuparemos del tratamiento de las perturbaciones de ruido, desvanecimiento lento e interferencia.

Como TACS emplea la planificación celular en lo relativo a reutilización de frecuencias, control de interferencias y asignación de frecuencias (posteriormente se explicara en qué consiste la



planificación celular) se presentaran de forma resumida los aspectos de dimensionamiento y elección de frecuencias.

2.1.5.1 INFLUENCIA DEL RUIDO Y SU CONTROL.

Se deben considerar dos fuentes de ruido en la interfaz radio:

- Ruido interno de los receptores y elementos de conexión.

- Ruido artificial externo.

La tecnología actual permite fabricar receptores con factor de ruido muy pequeño por lo que el ruido interno es, en general, reducido. Aumenta, sin embargo, por el efecto de los elementos pasivos que conectan el receptor a la antena.

El ruido artificial es de naturaleza impulsiva, con una relación entre valores de cresta y medios muy elevado. Aunque su densidad espectral de potencia disminuye con la frecuencia, aún puede ser notable su acción en la banda de 900MHz, sobre todo en el caso de receptores móviles en medio urbano, que están rodeados de estas fuentes de ruido. En cambio el receptor de estación base, aunque por su altura cubre más calles que un móvil y, por tanto, más fuentes de ruido, como estas son más distantes, la potencia de ruido captada por el receptor suele ser pequeña y, generalmente, puede despreciarse.

La potencia de ruido artificial, p_n , recibida en una antena en una anchura de banda b , se expresa mediante el factor de ruido de la antena f_a de forma que:

$$f_a = \frac{P_n}{KT_o b} \quad (4)$$

Donde k es la constante de Boltzmann y T_o la temperatura de referencia. Si suponemos un valor de $T_o=290K$, la expresión anterior quedaría de la siguiente manera:

$$F_a \text{ (dB)} = P_n \text{ (dBm)} + 174 + 10\log b \text{ (Hz)} \quad (5)$$

Los valores más usuales de F_a son los comprendidos en el intervalo de 9 a 12 dB para frecuencias del orden de 900 MHz. En general, la influencia del ruido artificial es mayor para la



voz que para los mensajes de señalización ya que éstos tienen una elevada protección mediante sus códigos de control de errores y las tasas de llegadas de los impulsos de ruido son pequeñas comparadas con las velocidades de los bits de señalización.

En la planificación se tendrán en cuenta el ruido natural del receptor y sus elementos de conexión y el ruido artificial, cuando proceda, en forma de un factor de degradación D (dB), siendo los casos más comunes los receptores de estación base (existe elementos pasivos entre la antena y el receptor) y los receptores móviles (no existen elementos pasivos entre la antena y el receptor).

2.1.5.2 DESVANECIMIENTO LENTO

En cuanto al desvanecimiento lento, log-normal, el planificador elige un margen de funcionamiento (llamado margen log-normal) para tener una señal por encima del umbral en el L % de las ubicaciones más desfavorables (generalmente en el borde de la cobertura) de la célula. El margen es igual a:

$$M(L)=k(L)\sigma_L \quad (6)$$

Donde L es el porcentaje de ubicaciones, $k(L)$ es la función inversa de la gaussiana acumulativa y σ_L la variación de la señal con las ubicaciones. Este porcentaje L es la cobertura perimetral. Empleando la formula de Jakes se puede obtener la cobertura zonal:

$$Z=L+50 \exp\left(\frac{2xy+1}{y^2}\right)\operatorname{erfc}\left(x+\frac{1}{y}\right) \quad (7)$$

Donde:

$$x=\frac{k(P)}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

$$y=3.071n/\sigma_L \quad (9)$$

$$k(P)=G^{-1}(1-P/100) \quad (10)$$

Donde $k(P)$ es la abscisa normalizada de una distribución gaussiana para el porcentaje P y n es el exponente de la ley de propagación.



Por tanto, el valor de planificación para la potencia de recepción en bornas de la antena receptora será:

$$P_r(\text{dBm}) = S(\text{dBm}) + D(\text{dB}) + M(L)(\text{dB}) \quad (11)$$

2.1.5.3 INTERFERENCIAS

El efecto de la interferencia, en condiciones normales de funcionamiento, está controlado por la elección de la relación portadora/interferencia (C/I) adecuada. Sin embargo, si la señal deseada sufre un desvanecimiento y la interferente no, la relación C/I será inferior al umbral en esos periodos y, por, efecto de captura, aparecerá la interferente a la salida del receptor. También puede producirse un tono de batido entre las frecuencias de las señales portadora e interferente que, aunque nominalmente iguales, realmente son algo diferentes. El tono puede ser audible. Estos efectos son de muy breve duración cuando el desvanecimiento es Rayleigh. Para desvanecimiento lento, de tipo log-normal, se especificará en la planificación el porcentaje de ubicaciones en que se admite que la C/I este por debajo del umbral. En esos casos actuará también la protección SAT y se producirán micro cortes que entran dentro de lo admisible, a efectos de la calidad global de la comunicación.

En la planificación TACS solía utilizarse un valor mínimo para la relación C/I en el borde nominal de la célula de 17 dB. Si la variabilidad con las ubicaciones de las señales deseadas e interferentes es $\sigma_L = 6\text{dB}$, la variabilidad de la relación C/I es $6\sqrt{2} \approx 8,4\text{dB}$, por lo que el valor medio de esta relación para una calidad del 90% será:

$$\left(\frac{C}{I}\right) = \left(\frac{C}{I}\right)_{\min} + 1.28 \cdot 8.4 = 27.7 \text{ dB} \quad (12)$$

El proyecto del subsistema radio del TACS se basa, al igual que lo hace posteriormente GSM, en la teoría celular. Para los canales de voz se eligen agrupaciones de 12 células omnidireccionales para aplicaciones rurales y 7 células trisectorizadas (configuración 7/21) o 4 células hexasectorizadas (configuración 4/24) para medios urbanos de gran densidad de tráfico. El canal de señalización suele ser único para cada EB y lo comparten en consecuencia todas las células que forman parte de esa estación. Por ello su pauta dereutilización es omnidireccional y la agrupación la forman 21 estaciones base, puesto que hay reservados 21 radiocanales SIG. (canal de señalización).



2.1.5.4 DIMENSIONAMIENTO.

Las estaciones de base se dimensionan mediante la fórmula Erlang B para una probabilidad de bloqueo PB y un tráfico por abonado e determinados. En los primeros sistemas de PMT, se adoptaron valores PB=5% y e=25mE. Actualmente la tendencia de los operadores a ofrecer mayor calidad ha hecho reducir PB=2%. Después del despliegue inicial se comprobó que la intensidad de tráfico por abonado es inferior al valor inicial supuesto, estando en torno 14-17 mE. Como en todos los sistemas de PMT, se parte de la densidad de tráfico por km² ρ (E/km²), de forma que si S, es el área de la célula, el número de radiocanales de voz será:

$$N = B^{-1}(\rho_n \cdot S_c \cdot \rho) \quad (13)$$

Donde B^{-1} es la fórmula Erlang-B inversa.

Asimismo deberá incluirse el radiocanal de señalización. En función del tráfico total de la estación base, deberán dimensionarse, también con la fórmula Erlang B, los enlaces que la conectan con la MSC o RSU, prestando especial cuidado, ya que de nada valdría gastar los recursos radioeléctricos en la interfaz radio si existe congestión en la red fija. Para minimizar las pérdidas de llamadas en esta parte de la red, los circuitos de señalización suelen ser redundantes (1+1) y se debe emplear diversidad de rutas tanto para ellos como para los de voz.

2.1.5.5 ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS

La asignación de frecuencias debe regirse por una serie de normas que son consecuencia de la amplia desviación de frecuencia utilizada en la modulación FM, de los requisitos impuestos por la ingeniería de conexión de transmisores y por la metodología celular.

Las normas básicas de asignación son:

- 1) En las células de una misma BS no se utilizaran canales adyacentes.
- 2) A ser posible, no se usaran canales adyacentes de voz en células contiguas.
- 3) No se asignarán canales SIG adyacentes en células contiguas.



- 4) Los canales correspondientes a transmisores combinados en una misma antena deberán mantener entre sí una separación mínima de 24 o más canales si se usan combinadores de cavidades.
- 5) Siempre que sea posible se procurará seguir un patrón de asignación celular inspirado en la matriz asignación y teniendo en cuenta la matriz de colindancia.⁵
- 6) Cuando se dispongan de series regulares de frecuencias y/o como alternativa o complemento se utilizara el método heurístico, definiendo previamente la matriz de compatibilidad.

2.2. ESTADO ACTUAL DE LA TÉCNICA

Basándose en el apartado anterior, nos adentramos en las comunicaciones móviles digitales, que suponen un avance sobre las comunicaciones analógicas como se podrá observar una vez finalizado este capítulo.

Actualmente conviven tres principales sistemas de comunicaciones móviles, GSM, GPRS Y UMTS. Cada uno de ellos supone una mejora respecto al anterior, incluyendo nuevas técnicas y servicios que explicaremos a continuación brevemente.

2.2.1 PANORAMA GENERAL DE GSM

2.2.1.1 UN POCO DE HISTORIA

GSM es un sistema de comunicación basado en el uso de células digitales que se desarrollo para crear un sistema para móviles único que sirviese de estándar para Europa y que fuese compatible con los servicios existentes y futuros sobre ISDN (Integrated Services Digital Network) o RDSI (Red Digital de Servicios Integrados). La situación que se vivía en estos primeros años de la década de los 80 era curiosa ya que los sistemas existentes hasta ese momento eran sistemas analógicos (la primera generación como se la conoce en la que los sistemas predominantes eran el NMT-450 y NMT-900 y en EEUU el sistema AMPS que se adaptó a Europa como sistema TACS) que habían tenido mucho éxito en los países nórdicos y en el Reino Unido sin embargo la nueva tecnología digital basada en células presentaba un panorama un ,tanto desolador, ya que cada país había desarrollado su propio sistema, lo que



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

implicaba algunos problemas muy importantes y que ya podéis imaginaros; por un lado tenemos que la operatividad del terminal acababa donde acababa los límites de cada país y por otro lado el mercado para cada tipo de terminal era muy limitado y estaba restringido al país en donde el dispositivo fuese a ser utilizado.

Para solucionar estos problemas en el año 1982 el CEPT o Conference of European Posts and Telecommunications creó el denominado Groupe Special Mobile o GSM para desarrollar un sistema basado en células de radio y que sirviesen para todos los países europeos, en el cuadro 1 se enumeran los objetivos que se perseguían en este grupo. En el año 1989 todas las responsabilidades que había tenido hasta ahora el CEPT se traspasan al European Telecommunications Standards Institute o ETSI (<http://www.etsi.org>), que va a ser el encargado de regular desde este momento todos los aspectos de las comunicaciones a través de GSM, los primeros sistemas comerciales basados en esta nueva red aparece en el año 1991, en el cuadro 2 se expone el orden cronológico exacto de los acontecimientos que derivaron en el GSM que todos conocemos actualmente.

- Mejora en la eficiencia del espectro
- Capacidad de hacer un roaming internacional de una manera automática.
- Costes bajos.
- Alta calidad de la voz transmitida.
- Compatibilidad con otros sistemas.
- Posibilidad de ir añadiendo nuevos servicios a medida que se fuesen requiriendo

Cuadro 1. Objetivos del CEPT para GSM

Año – Suceso

1982 -El CEPT crea el grupo GSM

1985 -Primera recomendaciones del grupo GSM

1986 -Primeras pruebas de radio sobre GSM

1987 -Se elige el sistema TDMA como técnica de acceso al medio



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

1988 -Se valida el sistema GSM

1989 -Se traspasa GSM del CEPT al ETSI

1989 -Primeras especificaciones sobre GSM para desarrollar productos comerciales

1990 -Lanzamiento de GSM a nivel comercial

1991 -Inclusión de GSM en ciudades y aeropuertos

1993 -Cobertura de GSM en autopista e inicio de su uso fuera de Europa

1995 -Cobertura de áreas rurales

Cuadro 2. Cronología GSM

Hoy en día GSM es un estándar que no es utilizado solamente en Europa ya que actualmente es usado en casi cien países en todo el mundo. De igual modo el número de servicios que se han ido desarrollando sobre GSM han ido evolucionando con el paso del tiempo, los servicios que se van incorporando a GSM se llevan a cabo por el Memorandum of Understanding (MoU) que viene a ser como un subgrupo encargado de estos temas, el MoU ha definido tres tipos de categorías de servicios que pueden ofrecerse sobre una red GSM.

Las tres categorías de servicios sobre GSM son: teleservicios que engloban a los servicios básicos de telefonía; los servicios portadores que son los usados para la transmisión y recepción de datos; y los servicios complementarios generalmente extensiones de los tele servicios y que proporcionan nuevas características a la red GSM.

En la siguiente tabla [Tabla 2.3] podéis ver algunos ejemplos característicos de cada grupo:

Tele servicios	Telefonía	Llamadas de emergencia	Short Messaging Services (SMS)	Servicios de Fax y Voz
Servicios Portadores	Transmisión síncrona y asíncrona de datos			
Servicios Complementarios	Llamada en espera	Llamadas múltiple	Identificación de llamada	

Tabla 2.3 Características de los diferentes grupos.



2.2.1.2 DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS CELULARES

Se ha dicho que GSM es un sistema basado en células de radio, vamos a ver qué significa esto así como las diferentes organizaciones que surgen de una idea en principio muy simple.

Los sistemas celulares se basan en la división del área de cobertura de un operador en lo que se denomina células (cells), estas células se caracterizan por su tamaño que viene determinado por la potencia del transmisor pero de un modo muy particular ya que lo que se persigue siempre en los sistemas celulares es que la potencia de transmisión sea lo más baja posible a fin de poder reutilizar el mayor número de frecuencias. El porqué de tener el mayor número de frecuencias disponibles tiene que ver con que a mayor número de frecuencias libres mayor es el número de usuarios que pueden hacer uso del sistema ya que cada uno puede usar una frecuencia sin interferir en la de otro usuario (realmente no se utiliza una frecuencia por usuario pero la idea general es esta). De este modo todas las bandas de frecuencias se distribuyen sobre las células a lo largo del área de cobertura del operador de manera que todos los canales de radio se encuentran disponibles para ser usados en cada grupo de células (clusters) lo cual no sucedería si se produjese una emisión de la señal con una potencia superior ya que se podría interferir en otras células adyacentes interfiriendo en las frecuencias disponibles. Como podéis imaginar la distancia que debe existir entre dos células debe ser lo suficientemente grande como para que no se produzca interferencia entre ellas, hay que decir también que hay determinados canales que se reservan para labores de señalización y control de toda la red.

Todo lo explicado anteriormente se resume en dos condiciones que las células deben de verificar para que este sistema funcione:

- 1.- Por un lado el nivel de potencia del transmisor debe de ser el mínimo para reducir las interferencias con los transmisores de las células vecinas.
- 2.- Las células vecinas no pueden compartir los mismos canales, el motivo es similar al anterior, reducir el nivel de interferencias.

Las células se unen las unas a las otras mediante cable (lo más normal) o bien mediante radio enlaces así como con la red telefónica fija.

Una vez que tenemos claro el concepto de célula el siguiente nivel de organización que existe en GSM es el de cluster, que no es más que un conjunto de células agrupadas entre sí, estos clusters suelen agrupar conjuntos de 4, 7, 12 o 21 células distintas que se distribuyen por todo el área de cobertura del operador.



2.2.1.2.1 TIPOS DE CELULAS

En GSM se distinguen cuatro tipos diferentes de células. Son las siguientes:

Macrocelulas (Macrocells): Son células de gran tamaño utilizadas en áreas de terreno muy grandes y donde la distancia entre áreas pobladas es muy distantes entre sí.

Microcelulas (Microcells): Se utilizan por el contrario en áreas donde hay una gran densidad de población, el objetivo al hacer esto es el que comentábamos antes cuando describíamos que era una célula, a mayor número de células mayor número de canales disponibles que pueden ser utilizados por más usuarios simultáneamente.

Células selectivas (Selectived Cells): En muchas ocasiones no interesa que una célula tenga una cobertura de 360 grados sino que interesa que tenga un alcance y un radio de acción determinado, en este caso es donde aparecen las células selectivas, el caso más típico de células de este tipo son aquellas que se disponen en las entradas de los túneles en los cuales no tiene sentido que la célula tenga un radio de acción total (360 grados) sino un radio de acción que vaya a lo largo del túnel.

Células Paraguas (Umbrella Cells): Este tipo de células se utilizan en aquellos casos en los que tenemos un elevado número de células de tamaño pequeño y continuamente se están produciendo cambios (handovers) del terminal de una célula a otra (más adelante veremos que es el handover más detalladamente) para evitar que suceda esto lo que hacemos es agrupar conjuntos de microcelulas de modo que aumentamos la potencia de la nueva célula formada y podemos reducir el número de handovers que se producen.



2.2.1.2.2 ARQUITECTURA DE UNA RED GSM

Todas las redes GSM se pueden dividir en cuatro partes fundamentales y bien diferenciadas:

1.- La Estación Móvil o Mobile Station (MS): Consta a su vez de dos elementos básicos que debemos conocer, por un lado el terminal o equipo móvil y por otro lado el SIM o Subscriber Identity Module. Con respecto a los terminales poco tenemos que decir ya que los hay para todos los gustos, lo que si tenemos que comentar es que la diferencia entre unos y otros radica fundamentalmente en la potencia que tienen que va desde los 20 vatios (generalmente instalados en vehículos) hasta los 2 vatios de nuestros terminales.

El SIM es una pequeña tarjeta inteligente que sirve para identificar las características de nuestro terminal. Esta tarjeta se inserta en el interior del móvil y permite al usuario acceder a todos los servicios que haya disponibles por su operador, sin la tarjeta SIM el terminal no nos sirve de nada porque no podemos hacer uso de la red. La SIM está protegida por un número de cuatro dígitos que recibe el nombre de PIN o Personal Identification Number. La mayor ventaja de las tarjetas SIM es que proporcionan movilidad al usuario ya que puede cambiar de terminal y llevarse consigo la SIM. Una vez que se introduce el PIN en el terminal, el terminal va a ponerse a buscar redes GSM que estén disponibles y va a tratar de validarse en ellas, una vez que la red (generalmente la que tenemos contratada) ha validado nuestro terminal el teléfono queda registrado en la célula que lo ha validado.

2.- La Estación Base o Base Station Subsystem (BSS): Sirve para conectar a las estaciones móviles con los NSS, además de ser los encargados de la transmisión y recepción. Como los MS también constan de dos elementos diferenciados: La Base Transceiver Station (BTS) o Base Station y la Base Station Controller (BSC). La BTS consta de transceivers y antenas usadas en cada célula de la red y que suelen estar situadas en el centro de la célula, generalmente su potencia de transmisión determinan el tamaño de la célula.

Los BSC se utilizan como controladores de los BTS y tienen como funciones principales las de estar al cargo de los handovers, los frequency hopping y los controles de las frecuencias de radio de los BTS.

3. El Subsistema de Conmutación y Red o Network and Switching Subsystem

(NSS): Este sistema se encarga de administrar las comunicaciones que se realizan entre los diferentes usuarios de la red; para poder hacer este trabajo el NSS se divide en siete sistemas diferentes, cada uno con una misión dentro de la red:



-*Mobile Services Switching Center (MSC)*: Es el componente central del NSS y se encarga de realizar las labores de conmutación dentro de la red, así como de proporcionar conexión con otras redes.

- *Gateway Mobile Services Switching Center (GMSC)*: Un gateway es un dispositivo traductor (puede ser software o hardware que se encarga de interconectar dos redes haciendo que los protocolos de comunicaciones que existen en ambas redes se entiendan. La misión del GMSC es esta misma, servir de mediador entre las redes de telefonía fijas y la red GSM

- *Home Location Register (HLR)*: El HLR es una base de datos que contiene información sobre los usuarios conectados a un determinado MSC. Entre la información que almacena el HLR tenemos fundamentalmente la localización de el usuario y los servicios a los que tiene acceso. El HLR funciona en unión con el VLR que vemos a continuación.

- *Visitor Location Register (VLR)*: contiene toda la información necesaria sobre un usuario necesaria para que dicho usuario acceda a los servicios de red. Forma parte del HLR con quien comparte funcionalidad.

- *Authentication Center (AuC)*: Proporciona los parámetros necesarios para la autenticación de usuarios dentro de la red; también se encarga de soportar funciones de encriptación.

- *Equipment Identity Register (EIR)*: También se utiliza para proporcionar seguridad en las redes GSM pero a nivel de equipos válidos. La EIR contiene una base de datos con todos los terminales que son válidos para ser usados en la red. Esta base de datos contiene los International Mobile Equipment Identity o IMEI de cada terminal, de manera que si un determinado móvil trata de hacer uso de la red y su IMEI no se encuentra localizado en la base de datos del EIR no puede hacer uso de la red.

- *GSM Interworking Unit (GIWU)*: sirve como interfaz de comunicación entre diferentes redes para comunicación de datos.

4. Los Subsistemas de soporte y Operación u Operation and Support Subsystem

(OSS):

Los OSS se conectan a diferentes NSS y BSC para controlar y monitorizar toda la red GSM. La tendencia actual en estos sistemas es que, dado que el número de BSS se está incrementando se pretende delegar funciones que actualmente se encarga de hacerlas el subsistema OSS en los BTS de modo que se reduzcan los costes de mantenimiento del sistema.

En la siguiente imagen [Figura 2.3] se observa un pequeño esquema de lo que hemos contado hasta ahora:



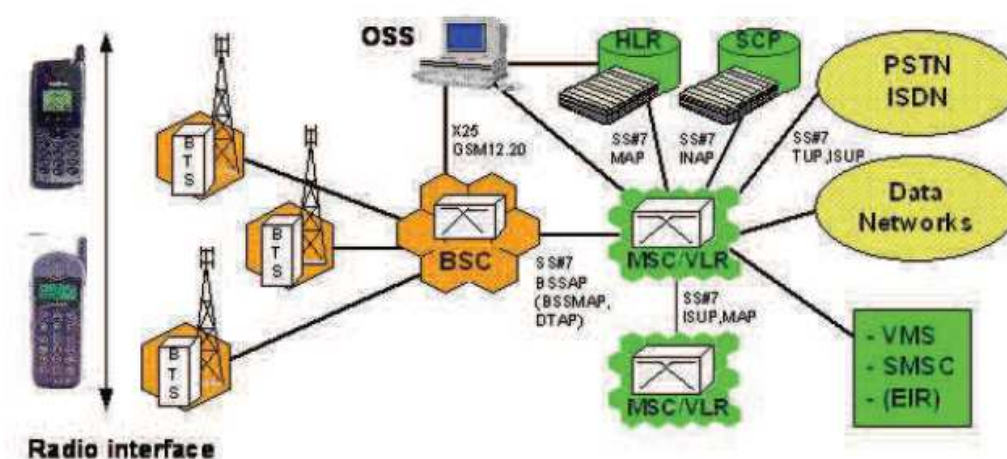


Figura 2.3 Esquema de red GSM

2.2.1.2.3 ROAMING Y HAND-OVER

Una vez vista la arquitectura de red que tenemos en GSM se va a ver dos aspectos que son fundamentales dentro del funcionamiento normal de una red GSM, nos referimos al roaming y al handover.

En los apartados anteriores se definió que una red GSM se fundamenta en lo que hemos llamado célula y también comentábamos que una vez que introducíamos nuestro PIN en el terminal se procedía a buscar una red donde ser validado. Estos dos aspectos conllevan una serie de consecuencias que son las que van a originar el roaming y el hand-over.

El roaming se produce siempre que nos estamos validando dentro de la red GSM y el terminal no es capaz de encontrar la red en la cual somos clientes; esto pasa fundamentalmente cuando salimos de viaje al extranjero, donde existe la red, pero no es la de nuestro operador; en este caso, el roaming consiste en la utilización de la red que se encuentre disponible y con la que nuestro operador tiene un acuerdo de colaboración. De este modo, podemos seguir conectados con nuestro móvil a la red independientemente de que estemos fuera del alcance de nuestro operador habitual. Existe un problema con el roaming que tenemos que tener en cuenta y es que cuando nuestro terminal se encuentra en roaming sucede que en el caso de que alguien nos llame, el coste de la llamada se divide de manera que la persona que nos llama paga la parte nacional de la llamada y nosotros corremos con los gastos de la parte internacional; esto es debido a que en el roaming nuestro operador no sabe de antemano donde nos encontramos, ya que estamos en una red que no le pertenece y por tanto no puede establecer la tarifa que debe aplicar.



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

El concepto de handover tampoco es complicado y consiste en la transición que se produce cuando pasamos del rango de acción de una célula al rango de acción de otra. Esto se produce sobre todo cuando viajamos. El hand-over, por tanto, es el responsable de mantener el servicio de manera constante y de que las transiciones entre una célula y otra sean lo suficientemente pequeñas como para pasar desapercibidas por los usuarios. Hay distintos tipos de hand-over en función de las células que intervengan en el proceso. Según esto se puede hablar de cuatro tipos diferentes de hand-over, que pueden producirse:

- Hand-over de canales en la misma célula
- Hand-over de células controladas por el mismo BSC
- Hand-over de células que pertenecen al mismo MSC, pero controladas por diferentes BSC
- Hand-over de células de diferentes MSC

2.2.1.2.4 GSM Y LOS RADIO ENLACES

Hasta ahora, se ha visto como es la red de GSM, pero no se ha dicho nada sobre otro elemento que forma parte de la red y que no se puede olvidar, ya que resulta fundamental para el funcionamiento del sistema. Nos referimos a los radio enlaces. A través de la interfaz de radio, se produce la comunicación entre los dispositivos móviles y las infraestructuras fijas que hay en las células. En GSM se han especificado dos bandas de frecuencia para poder ser usadas y con dos fines distintos:

- Por un lado, se tiene la banda de los 890-915 MHz, que se utiliza para transmitir desde la estación móvil a la estación base
- Por otro lado se tiene la banda de los 935-960 MHz, para transmitir en el sentido contrario, es decir, desde la estación base a la estación móvil.

Hay que señalar que de estas dos bandas de frecuencias (en total tenemos 25MHz en cada banda de frecuencias), no se pueden usar todas, ya que algunas se encuentran no disponibles por motivos militares y por compatibilidad con algunos sistemas analógicos anteriores al GSM. Estas bandas de frecuencia, son utilizadas para mantener diferentes comunicaciones simultáneas; hay dos mecanismos fundamentalmente utilizados para poder proporcionar acceso múltiple a un medio limitado, como son las frecuencias. Estos dos mecanismos se denominan FDMA o Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por división de Frecuencia) y TDMA o Time Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Tiempo).



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

En el caso de FDMA a cada usuario se le asigna una frecuencia de manera que el máximo número de usuarios que pueden usar el sistema viene determinado por el máximo número de frecuencias disponibles. Mediante TDMA lo que se hace es que diferentes usuarios pueden utilizar el mismo canal; para ello, a cada usuario se le asigna un determinado tiempo en el cual puede hacer uso del canal. Realmente, esto es un poco más complicado, como veremos a continuación.

TDMA se usa en los sistemas GSM sobre la estructura de FDMA, de la manera siguiente: A los 25 MHz de banda de frecuencias se divide en 125 partes denominadas frecuencias transportadoras, las cuales se encuentran separadas unas de otras por una frecuencia intermedia de 200 KHz; de las 125 frecuencias transportadoras (portadoras), una de ellas (generalmente la primera) se utiliza para comunicar GSM con servicios de baja frecuencia, por lo que de las 125, realmente solo 124 van a estar disponibles en todo momento. Posteriormente, cada frecuencia transportadora se divide siguiendo el esquema de TDMA en aproximadamente espacios de 0.577 ms, que son asignados a un usuario en particular.

2.2.1.2.5 MODULACIÓN GMSK

En la búsqueda de un esquema de modulación con la condición de tener un compromiso aceptable entre ambos parámetros, la comunidad GSM decidió usar la modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) con la propiedad $B \cdot T = 0,3$.

“Gaussian” se basa en filtrar la señal modulada en un intervalo límite (dominio del tiempo) con el que se garantiza un ancho de banda limitado en el dominio de la frecuencia. “Minimum Shift Keying” es un esquema de modulación basado en una trayectoria continua de fase continua (sin saltos repentinos de la vector señal).[Figura 2.4]

La combinación de ambos permite que GSM alcance un velocidad de modulación de 271 Kb/s aprox. Con un ancho de banda para la modulación de 162 kHz (permitiendo un espaciado entre canales de 200kHz).



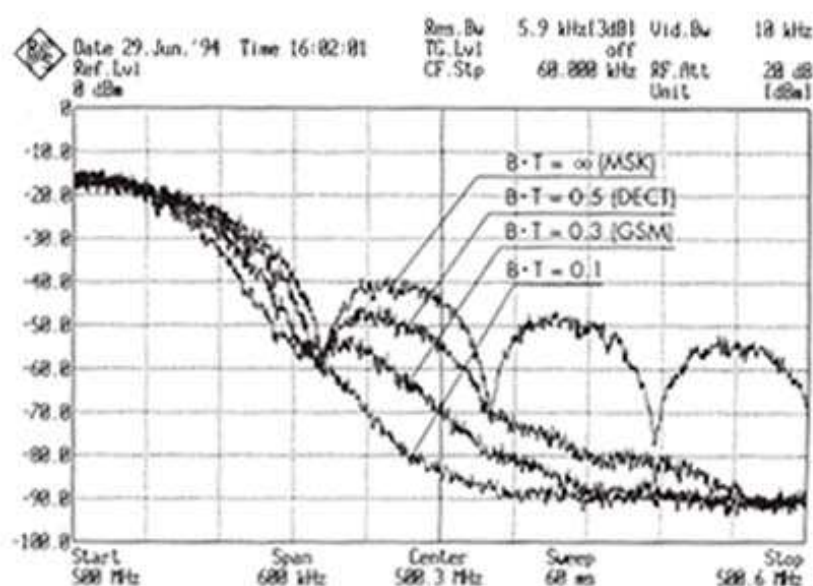


Figura 2.4 Espectro de la modulación digital

2.2.2 GPRS

General Packet Radio Service o GPRS es una tecnología digital de telefonía móvil. Es considerada la generación 2.5, entre la segunda generación (GSM) y la tercera (UMTS). Proporciona altas velocidades de transferencia de datos (especialmente útil para conectar a Internet) y se utiliza en las redes GSM. GPRS es sólo una modificación de la forma de transmitir datos en una red GSM, pasando de la conmutación de circuitos en GSM (donde el circuito está permanentemente reservado mientras dure la comunicación aunque no se envíe información en un momento dado) a la conmutación de paquetes. Desde el punto de vista del Operador de Telefonía Móvil es una forma sencilla de migrar la red desde GSM a una red UMTS puesto que las antenas (la parte más cara de una red de Telecomunicaciones móviles) sufren sólo ligeros cambios y los elementos nuevos de red necesarios para GPRS serán compartidos en el futuro con la red UMTS.

GPRS es básicamente una comunicación basada en paquetes de datos. Los *timeslots* (intervalos de tiempo) se asignan en GSM generalmente mediante una conexión conmutada, pero en GPRS los intervalos de tiempo se asignan a la conexión de paquetes, mediante un sistema basado en la demanda. Esto significa que si no se envía ningún dato por el usuario, las frecuencias quedan libres para ser utilizadas por otros usuarios. Que la conmutación sea por paquetes permite fundamentalmente la compartición de los recursos radio. Un usuario GPRS sólo usará la red cuando envíe o reciba un paquete de información, todo el tiempo que esté



inactivo podrá ser utilizado por otros usuarios para enviar y recibir información. Esto permite a los operadores dotar de más de un canal de comunicación sin miedo a saturar la red, de forma que mientras que en GSM sólo se ocupa un canal de recepción de datos del terminal a la red y otro canal de transmisión de datos desde la red al terminal, en GPRS es posible tener terminales que gestionen cuatro canales simultáneos de recepción y dos de transmisión, pasando de velocidades de 9,6 Kbps en GSM a 40 Kbps en recepción en GPRS y 20 Kbps de transmisión.

Otra ventaja de la conmutación de paquetes es que, al ocuparse los recursos sólo cuando se transmite o recibe información, la tarificación por parte del operador de telefonía móvil sólo se produce por la información transitada, no por el tiempo de conexión. Esto hace posible aplicaciones en la que un dispositivo móvil se conecta a la red y permanece conectado durante un periodo prolongado de tiempo sin que ello afecte en gran medida a la cantidad facturada por el operador.

Los teléfonos GPRS pueden llevar un puerto bluetooth, IrDA, o conexión por cable para transferir datos al ordenador, cámaras digitales, móviles u otros dispositivos.

2.2.3 UMTS

UMTS, siglas que en inglés hace referencia a los Servicios Universales de Telecomunicaciones Móviles, es miembro de la familia global IMT-2000 del sistema de comunicaciones móviles de “tercera generación” de UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), y lo que se explica más adelante sobre UMTS y los servicios UMTS es igualmente válido para otros miembros de la familia IMT-2000 (norma de telefonía móvil para 3G).

UMTS tiene un papel protagonista en la creación del mercado masivo para las comunicaciones multimedia inalámbricas de alta calidad. UMTS es la plataforma de prestaciones móviles preferida para los servicios y aplicaciones con gran contenido. En los últimos años, UMTS representa una oportunidad única de crear un mercado masivo para el acceso a la Sociedad de la Información de servicios móviles altamente personalizados y de uso fácil.

UMTS busca proporcionar mayor capacidad, posibilidades de transmisión de datos y una gama de servicios mucho más extensa, usando un innovador programa de acceso radioeléctrico y una red principal mejorada.



2.2.3.3 SERVICIOS DE UMTS

Apropiado para una variedad de usuarios y tipos de servicios, y no solamente para usuarios muy avanzados en aglomeraciones urbanas, UMTS ofrece:

Facilidad de uso y costes bajos

Los clientes quieren ante todo servicios útiles, terminales simples y una buena relación calidad-precio. UMTS proporciona:

- Servicios de uso fácil y adaptable para abordar las necesidades y preferencias de los usuarios.
- Terminales y otros equipos de “interacción con el cliente” para un fácil acceso a los servicios.
- Bajos costos de los servicios para asegurar un mercado masivo.
- Tarifas competitivas.
- Una amplia gama de terminales con precios accesibles para el mercado masivo, soportando simultáneamente las avanzadas capacidades de UMTS.

Nuevos y mejores servicios

Los servicios vocales mantendrán una posición dominante durante varios años. Los usuarios exigen a UMTS servicios de voz de alta calidad, junto con servicios de datos e información de avanzada calidad. Posibilita también servicios multimedia de alta calidad en áreas carentes de estas posibilidades en la red fija.

Acceso rápido

UMTS aventaja a los sistemas móviles de segunda generación (2G) por su potencial para soportar velocidades de transmisión de datos de hasta 2Mbit/s desde el principio. Esta capacidad sumada al soporte inherente del Protocolo de Internet (IP), se combinan poderosamente para prestar servicios multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, tales como servicios de video telefonía y video conferencia.

Transmisión de paquetes de datos y velocidad de transferencia de datos ha pedido

La mayoría de los sistemas celulares utilizan tecnología de conmutación de circuitos para la transferencia de datos. GPRS (Servicios de Radiotransmisión de Paquetes de

Datos Generales), una extensión de GSM (Sistema Global para Comunicaciones

Móviles), ofrece una capacidad de conmutación de paquetes de datos de velocidades bajas y medias. UMTS integra la transmisión de datos en paquetes y por circuitos de conmutación de alta velocidad a los beneficios de:

- Conectividad virtual a la red en todo momento



- Formas de facturación alternativas (por ejemplo, pago por byte, por sesión, tarifa plana, ancho de banda asimétrico de enlace ascendente/descendente) según lo requieran los variados servicios de transmisión de datos que están haciendo su aparición UMTS también ha sido diseñado para ofrecer velocidad de transmisión de datos a pedido, lo que combinado con la transmisión de paquetes de datos, hará que el funcionamiento del sistema resulte mucho más económico.

Entorno de servicios amigable y consistente

Los servicios UMTS se basan en capacidades comunes en todos los entornos de usuarios y radioeléctricos de UMTS. Al hacer uso de la capacidad de roaming desde su red hacia la de otros operadores UMTS, un abonado particular experimentará así un conjunto consistente de “sensaciones” como si estuviera en su propia red local

(“Entorno de Hogar Virtual” o VHE). VHE asegurará la entrega de todo el entorno del proveedor de servicios, incluyendo por ejemplo, el entorno de trabajo virtual de un usuario corporativo, independientemente de la ubicación o modo de acceso del usuario (por satélite o terrestre). Asimismo, VHE permitirá a las terminales gestionar funcionalidades con la red visitada, posiblemente mediante una bajada de software, y se proveerán servicios del tipo “como en casa” con absoluta seguridad y transparencia a través de una mezcla de accesos y redes principales.

Acceso Radio

UTRA, el sistema de acceso radioeléctrico de UMTS, soportará las operaciones con una alta eficiencia espectral y calidad de servicio. Posiblemente los terminales UMTS no puedan operar en todo momento a las velocidades más altas de transmisión de datos, y en áreas alejadas o excesivamente congestionadas los servicios del sistema pueden llegar a soportar solamente velocidades de transmisión de datos más bajas debido a limitaciones de propagación o por razones económicas.

Con el fin de permitir a los abonados usar siempre su terminal, los servicios serán adaptables a diferentes disponibilidades de velocidad de transmisión de datos y otros parámetros de Calidad de Servicio (QoS). En las primeras etapas del despliegue de

UMTS, la cobertura fue limitada. Por consiguiente, el sistema UMTS permite el roaming con otras redes, por ejemplo, un sistema GSM operado por el mismo operador o con otros sistemas GSM o de 3G de otros operadores, incluyendo los satélites compatibles con UMTS.



2.2.3.2 FRECUENCIAS

De acuerdo con la resolución “WARC-92 frecuencias para IMT-2000” :” las bandas de 1885-2025 MHz y 2110-2200 MHz están destinadas para el uso, a nivel mundial, por los gobiernos que deseen implementar IMT-2000” . Este uso no excluye el uso de de estas bandas por otros servicios asignado es estas frecuencias”.

A continuación se explica brevemente el uso de las diferentes bandas de frecuencias:

[Figura 2.5 y figura 2.6]

[De la tabla 2.4 a la tabla 2.8]

1920-1980 y 2110-2170 MHz Dúplex por División de Frecuencia (FDD, W-CDMA)Emparejados los canales ascendentes y descendentes, cada canal tiene un ancho de banda de 5MHz y una separación entre canales de 200Khz. Un operador necesita 3 ó 4 canales (2x15 MHz o 2X 20MHz) para poder construir una red de alta velocidad y capacidad.

1900-1920 y 2010-2025 MHz Dúplex por Division el en tiempo (TDD, TD/CDMA) No emparejados, canales con un ancho de banda de 5 MHz y una separación de 200 KHz. La transmisión y recepción no están separados en frecuencia.

1980-2010 y 2170-2200 MHz, enlaces ascendente y descendente para comunicaciones vía Satélite. La frecuencia portadora se designa por un UARFCN (UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number).

La fórmula general que relaciona la frecuencia con el UARFCN es:

$$\text{UARFCN} = 5 * (\text{frequency in MHz})$$



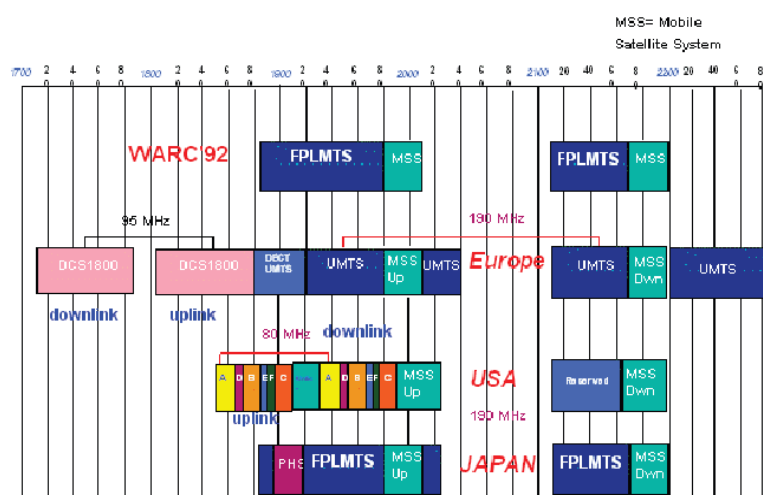


Figura 2.5 Frecuencias WARC-92 IMT-2000

También se definieron los siguientes aspectos de UMTS:

- Se identificó las bandas 1710-1885 y 2500- 2690 MHz

- Se identificó la banda de 806 a 960 MHz, en la cual se localiza los servicios en su primera base.

- Se decidió que las bandas de frecuencias 1525 - 1544, 1545 - 1559, 1610 - 1626.5, 1626.5 - 1645.5, 1646.5 - 1660.5 y 2483.5 - 2500 MHz por el componente satélite de IMT-2000, tanto como las bandas 2500 - 2520 MHz y 2670- 2690 MHz, dependiendo del desarrollo del mercado.

- Las bandas o porciones de las bandas 1710-1885 MHz y 2500-2690MHz se identifican para el uso que las administraciones deseen implementar. Esta identificación no excluye el uso de esas bandas por cualquier aplicación de los servicios para los cuales se asignaron y no se establecen prioridades en las Regulaciones Radio.



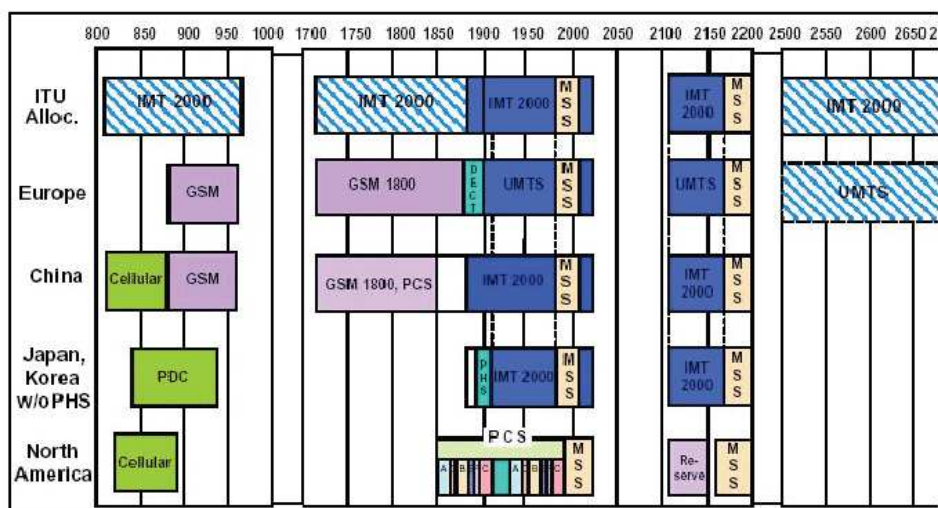


Figura 2.6 Frecuencias WRC-2000¹⁰ ITT-2000 [21]

Figura 2.6 Frecuencias WRC-2000¹⁰ ITT-2000

Banda de operación	Frecuencias Ascendentes(UL)	Frecuencias Descendentes (DL)
	EU transmite, Nodo B recibe	EU recibe, Nodo B transmite
I	1920-1980 MHz	2110-2170 MHz
II	1850-1910 MHz	1930-1990 MHz
III	1710-1785MHz	1805-1880 MHz

Tabla 2.4 Bandas de frecuencia ULTRA FDD

Banda de operación	Separación de frecuencias TX-RX
I	190MHz
II	80MHz
II	95MHz

Tabla 2.5 Separación de frecuencias TX-RX

	UARFCN	FRECUENCIA PORTADORA (MHz)
ASCENDENTE	$N_u = 5 \cdot F_{\text{uplink}}$	$0.0 \text{ MHz} \leq F_{\text{uplink}} \leq 3276.6 \text{ MHz}$ donde F_{uplink} es la frecuencia descendente en MHz
DESCENDENTE	$N_d = 5 \cdot F_{\text{downlink}}$	$0.0 \text{ MHz} \leq F_{\text{downlink}} \leq 3276.6 \text{ MHz}$ donde F_{downlink} es la frecuencia ascendente en MHz



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Tabla 2.6 Definición de UARFCN

	UARFCN	FRECUENCIA PORTADORA (MHz)
ASCENDENTE	$N_u=5*(F_{uplink}-1850.1 \text{ MHz})$	$F_{uplink}= 1852.5, 1857.5, 1862.5, 1867.5, 1872.5, 1877.5, 1882.5, 1887.5, 1892.5, 1897.5, 1902.5, 1907.5$
DESCENDENTE	$N_d=5*(F_{downlink}-1850.1 \text{ MHz})$	$F_{downlink}= 1932.5, 1937.5, 1942.5, 1947.5, 1952.5, 1957.5, 1962.5, 1967.5, 1972.5, 1977.5, 1982.5, 1987.5$

Tabla 2.7 Definición de UARFCN (Segunda banda: canales adicionales)

Banda de operación	Frecuencias Ascendentes (UL) EU transmite, Nodo B recibe	Frecuencias Descendentes (DL) EU recibe, Nodo B transmite
I	9612 a 9888	10562 a 10838

II	9262 a 9538 y 12,37,62,87,112,137, 162,187,212, 237,262,287	9662 a 9938 y 412,437,462,487,512,537,562,587,612, 637,662,687
III	8562 a 8913	9037 a 9388

UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number (UARFCN)

Tabla 2.8 Frecuencias de los canales



2.2.3.3 CDMA

A continuación se enumeran las principales características de la técnica de acceso

CDMA:

ESQUEMA DE ACCESO

Para el subsistema radio hay dos recursos: frecuencia y tiempo: División por frecuencia, de manera que a cada par de comunicadores (ascendente/ descendente) se le asigna parte del espectro para todo el tiempo, que da como resultado Acceso Múltiple por División en Frecuencia (FDMA). División por tiempo, de manera que a cada par de comunicadores (ascendente/ descendente) se le asigna todo (o al menos una gran parte) del espectro para parte del tiempo, lo que resulta Acceso Múltiple por División en Tiempo (TDMA). En Acceso Múltiple por División en Código (CDMA), todos los comunicadores (ascendente/ descendente se les asigna es espectro entero para todo el espacio de tiempo, se basa en el uso de códigos para identificar las diferentes conexiones.[Figura 2.7]

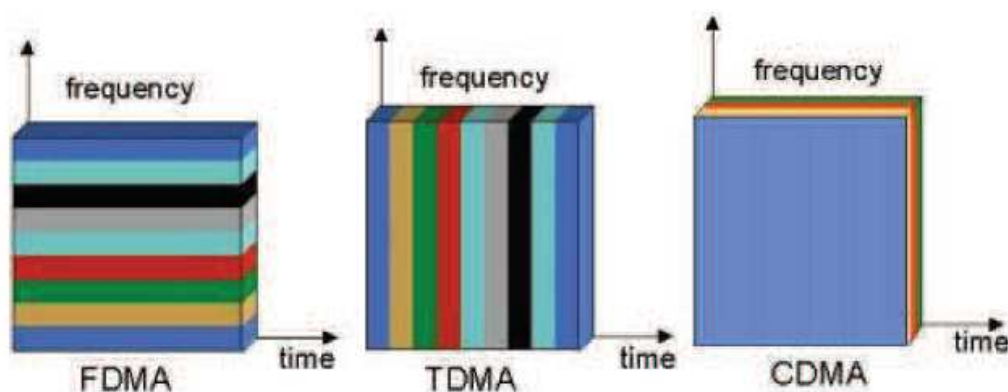


Figura 2.7 Esquemas de acceso múltiple.

CODIFICACIÓN

CDMA usa un código de ensanchado único para ensanchar los datos en banda base antes de la transmisión. La señal se transmite en un canal, la cual está bajo un nivel de ruido. El receptor usa un correlador para decodificar la señal de interés, la cual pasa a través de un estrecho filtro paso-banda. La señal no deseada no será decodificada y no pasara a través del filtro. Los códigos toman la forma de una cuidadosamente diseñada secuencia de 1s/0s producida a una



tasa mucho mayor que en el caso de los datos en banda base. La tasa del código ensanchado se refiere tanto a la tasa de chip como a la tasa de bit.

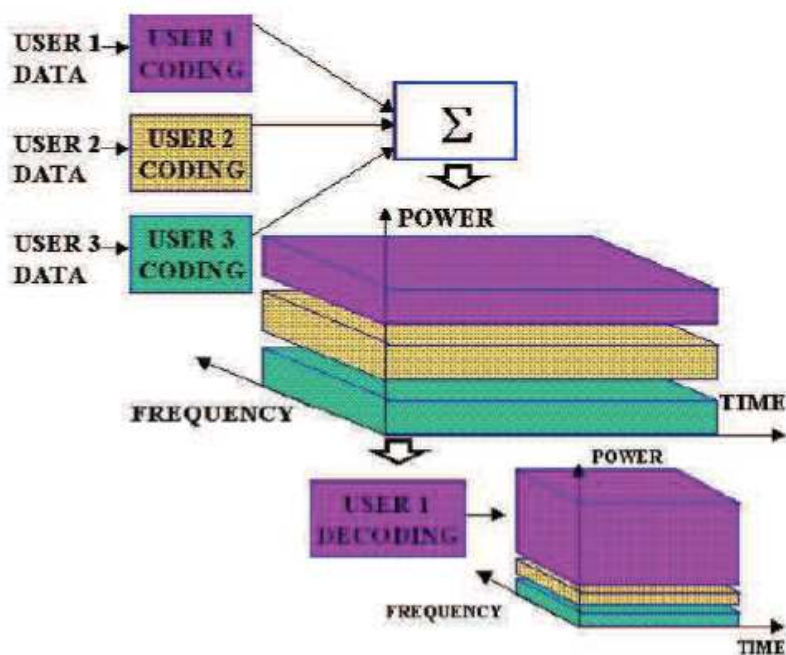


Figura 2.8 Ensanchamiento CDMA

CÓDIGOS

Los códigos CDMA no son necesarios para proporcionar seguridad en la llamada, sin embargo es una manera de identificar la llamada. Los códigos no deben estar correlacionados con otros códigos o con versiones de si mismo desfasados en tiempo.

Los códigos de ensanchado son ruido justo como los códigos pseudos-aleatorios. Los códigos de canal se diseñan con la máxima separación entre cada uno y los códigos de identificación de celda son ajustados para no ser correlativos a otros códigos de esos propios códigos.[Figura 2.9]

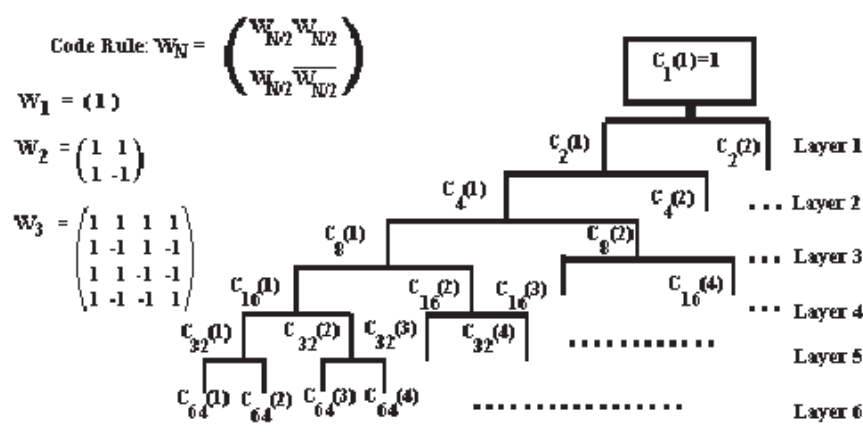


Figura 2.9 Ejemplo de código OVSF

EL PROCESO DE ENSANCHADO

Una señal de espectro ensanchado en secuencia directa (SS/DS-CDMA) se obtiene modulando la señal a transmitir con una señal pseudo-aleatoria de banda ancha (código de pseudo-ruido). El producto da una señal de banda ancha [Figura 2.10]. Un código de pseudoruido es una secuencia binaria representada con valores 0 y 1, que posee propiedades similares a las del ruido. Esto determina valores pequeños de correlación entre los códigos y la dificultad de bloqueo o detección de una señal de información por un usuario no deseado.

La dispersión de energía sobre una banda ancha, o rebajar la densidad espectral de potencia, hace que el sistema W-CDMA genere señales menos probables para interferir con comunicaciones de banda estrecha, porque la potencia ensanchada de la señal está cerca de los niveles gaussianos de ruido. Como ya se ha visto, las comunicaciones de banda estrecha, ocasionan poca o ninguna interferencia en sistemas W-CDMA porque el receptor de correlación integra sobre un ancho de banda muy amplio para recuperar una señal W-CDMA.

El factor de ensanchado es el ratio entre los chips (UMTS=3,84 Mchips/s) y la información en banda base. Los factores de ensanchado varía entre 4 y 512 en FDD

UMTS. La ganancia del proceso de ensanchado se puede expresar en dBs (por ejemplo el factor de ensanchado 128 corresponde con una ganancia de 21dB



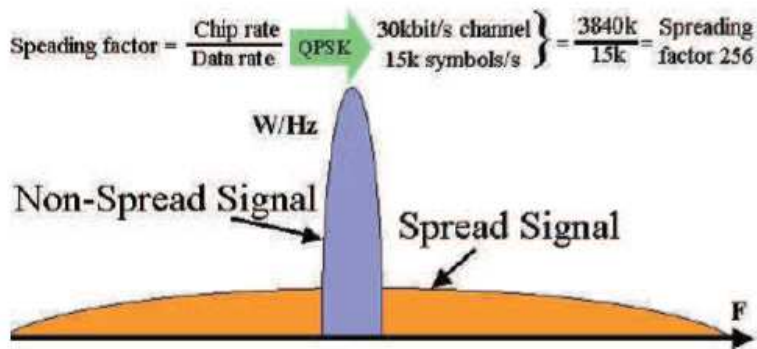


Figura 2.10 Proceso de ensanchamiento de CDMA

CONTROL DE POTENCIA

CDMA es un sistema de acceso múltiple limitado por las interferencias, debido a que todos los usuarios transmiten en la misma frecuencia, las interferencias generadas por el sistema es el factor más significativo para determinar la capacidad del sistema y la calidad de la llamada.

La potencia de transmisión de cada usuario se debe reducir para limitar la interferencia, sin embargo, la potencia debe ser suficiente para mantener el nivel requerido de E_b/N_0 (relación señal a ruido) para realizar una llamada con suficiente calidad.

La capacidad máxima se alcanza cuando la relación E_b/N_0 se encuentra al mínimo nivel necesario para un rendimiento aceptable del canal. Como el MS_{12} se está moviendo, en entorno de RF_{13} cambia continuamente debido a rápidos y lentos desvanecimientos, interferencias externas, zonas de sombra y otros factores. El objetivo del control dinámico de potencia es limitar la potencia transmitida en ambos enlaces a la vez que se mantiene la calidad del enlace bajo todas las condiciones.

HANDOVER

El Handover ocurre cuando una llamada tiene que ser traspasada de una celda a otra cuando el usuario se mueve entre varias celdas. En un tradicional handover “duro”, primero se “rompe” (termina) la conexión con la primera celda y después se establece la conexión con la otra celda. Este es conocido como “romper-antes-establecer” handover [Figura 2.11].

Puesto que todas las celdas en CDMA usan la misma frecuencia, es posible establecer la conexión con la nueva celda antes de abandonar la celda actual. Esto es conocido como handover “suave”. Los handovers suaves necesitan menos potencia, lo que reduce las interferencias e incrementa la capacidad. El móvil puede estar conectado a más de dos BTS en el momento del handover. Handover “Softer” es un caso especial de handover suave donde el enlace radio que se añade y elimina pertenece al mismo nodo B



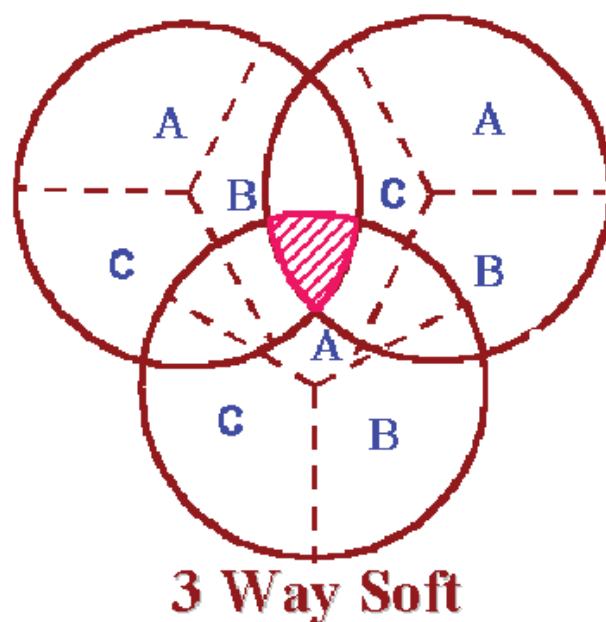


Figura 2.11 Handover suave en CDMA

MULTITRAYECTO Y MULTIPLE RECEPTORES

Una de las principales ventajas del sistema CDMA es la capacidad de usar las señales que llegan al receptor con diferentes retraso de tiempo. Este fenómeno se llama multitrayecto. FDMA y TDMA, los cuales son sistemas de banda estrecha y no puedes diferenciar entre las múltiples llegadas y recurren a la ecualización para mitigar los efectos negativos del multitrayecto. Sin embargo como CDMA es un sistema de banda ancha, utiliza las señales multitrayecto y las combina para crear una señal más potente en el receptor.

Los móviles CDMA utilizan un sistema de receptores múltiples. Esto es esencialmente un conjunto de varios receptores. Uno de los receptores está constantemente buscando diferentes multitrayectos para “alimentar” la información de los tres receptores. Entonces cada receptor demodula la señal correspondiente a un fuerte multitrayecto. Entonces se combinan los resultados para hacer una señal más potente.



2.3 HSDPA

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) es una tremenda mejora del rendimiento para WCDMA , los paquetes de datos consiguen una velocidad máxima de 14Mbps y eso es probablemente lo que incrementa la tasa de rendimiento medio hasta 1Mbps , esta 3,5 veces por encima de la tasa de WCDMA.

HSDPA también incrementa la eficiencia espectral es un factor similar. Disponible en 3GPP Release 5, los operadores comenzaron a probar HSDPA en 2005 y se preveía que para 2006 estuviese disponible para los abonados en algún país.

HSDPA es totalmente compatible con WCDMA Release 99, y cualquier aplicación desarrollada para WCDMA funcionará con HSDPA. La misma portadora radio puede, simultáneamente, dar servicio de WCDMA de voz y datos, tanto como datos de HSDPA.

HSDPA también tendrá una significativa disminución de latencia, se espera que este próximo a 100 msec.

HSDPA alcanza sus altas velocidades a través de técnicas similares que amplían el rendimiento de EDGE en el pasado GPRS, incluyendo modulación de alto orden, codificación variable y aumento de redundancia, tanto como a través de la incorporación de nuevas técnicas potentes y rápida planificación. HSDPA toma WCDMA en su máximo potencial para proveer los servicios de banda ancha y tiene el punto de rendimiento teórico más alto de todas las tecnologías celulares actualmente disponibles... La alta eficiencia espectral y velocidades no solo permiten nuevas aplicaciones, sino que también soportan que un mayor número de usuarios acceda a la red.

HSDPA logra su aumento de rendimiento de las siguientes características radio:

- Canales de alta velocidad compartiendo los dominios del tiempo y código
- Intervalos de tiempo de transmisión cortos.
- Planificación rápida y diversidad de usuario.
- Modulación de alto nivel.
- Rapidez en la adaptación de los enlaces



CANALES COMPARTIDOS DE ALTA VELOCIDAD E INTERVALOS DE TIEMPO DE TRANSMISIÓN CORTOS

HSDPA usa canales de datos de alta velocidad llamados High Speed - Downlink Shared Channels (HS-DSCH). Hasta 15 de esos canales pueden operar en canales de WCDMA de 5Mhz. Cada uno utiliza un factor de ensanchado fijo de 16. Las transmisiones de los usuarios se asignan a uno o más de esos canales durante un corto intervalo de tiempo de transmisión de 2 mseg, lo que significa menos que el intervalo de 10 a 20 mseg de WCDMA. La red puede reajustar como se asignan los usuarios a diferentes HS-DSCH cada 2 mseg. El resultado es que los recursos se asignan en ambos: tiempo (el intervalo TTI) y código (los canales HS-DSCH) La figura siguiente ilustra diferentes usuarios obteniendo diferentes recursos radio

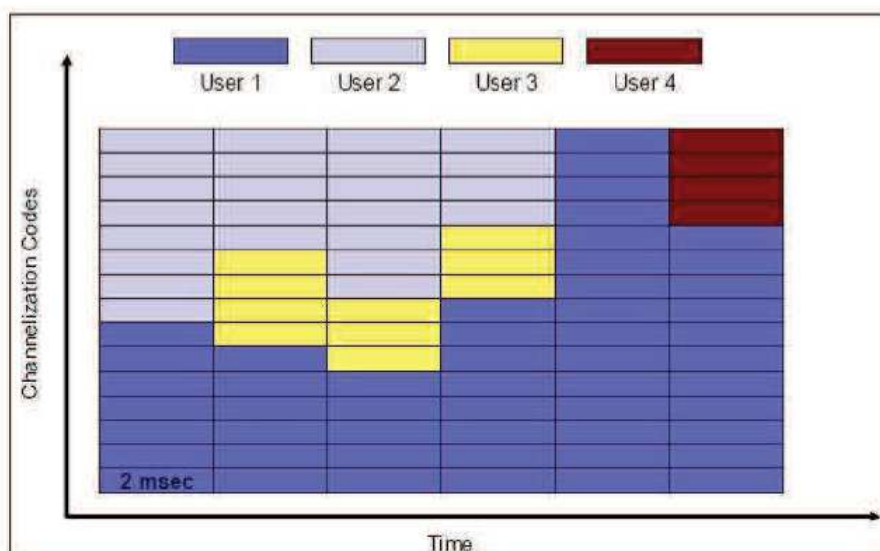


Figura 2.12 Ejemplo de High Speed-Downlink channel

RÁPIDA PLANIFICACIÓN Y DIVERSIDAD DE USUARIO.

La rápida planificación explota los cortos intervalos de tiempo de transmisión (TTI) para asignar los canales a los usuarios con las mejores condiciones instantáneas de canal en lugar de asignarlos uno por uno. Ya que las condiciones de los canales varían un tanto aleatoriamente para los usuarios, la mayoría de los usuarios pueden obtener servicios usando unas



condiciones radio óptimas y pueden, por consiguiente, obtener un óptimo rendimiento en datos. La gráfica siguiente muestra como un programador podría elegir entre dos usuarios basándose en las variaciones de sus condiciones radio, concretamente, haciendo hincapié en el usuario con mejor calidad de señal instantánea.

Con aproximadamente 30 usuarios activos en un sector, la red logra una significativa diversidad de usuario y también una alta eficiencia espectral. El sistema también asegura que cada usuario recibe un mínimo de capacidad

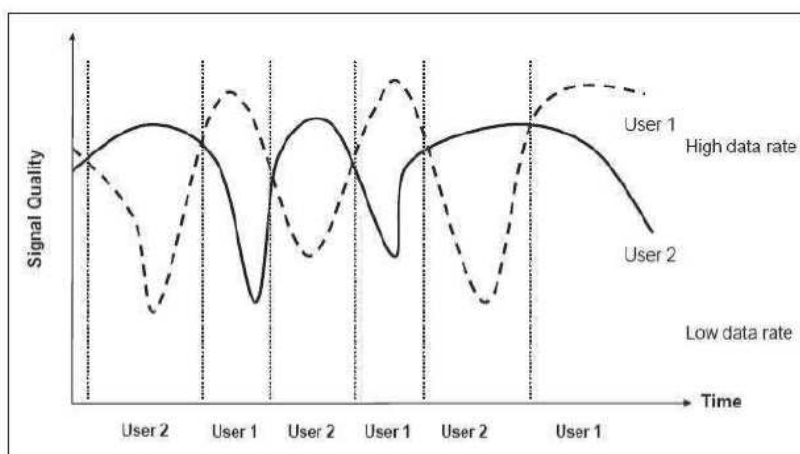


Figura 2.13 Diversidad del usuario

MODULACIÓN DE ALTO NIVEL

HSDPA usa las técnicas de modulación que usa WCDMA: QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) y bajo buenas condiciones de radio, un esquema avanzado de modulación 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation). La ventaja de 16QAM sobre QPSK es que en cada símbolo radio se transmiten 4 bits de datos en lugar de 2 bits como ocurría en QPSK. 16 QAM incrementa el rendimiento de datos, mientras que QPSK está disponible bajo condiciones adversas.

ADAPTACIÓN DE CONEXIÓN RÁPIDA.

Dependiendo de la condición del radio canal, se pueden emplear diferentes niveles de corrección de errores “hacia delante” (codificación de canal). Por ejemplo una tasa de codificación de $\frac{3}{4}$ significa que las tres cuartas partes de los bits transmitidos son bits de usuarios y un cuarto son bits de corrección de error. El proceso de selección y pronta actualización de la modulación óptima y tasa de codificación se conoce como



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Adaptación de conexión rápida. Esto se lleva a cabo en coordinación con la rápida planificación.

La tabla siguiente muestra los diferentes ratios de rendimiento alcanzados en base a la modulación, la tasa de codificación y el número de códigos HS-DSCH en uso. Se puede observar que la tasa máxima de 14.4Mbps se alcanza con una tasa de codificación de 4/4, modulación 16QAM y los 15 códigos HS-DSCH en uso.

Modulation	Coding Rate	Throughput with 5 codes	Throughput with 10 codes	Throughput with 15 codes
QPSK	1/4	600 kbps	1.2 Mbps	1.8 Mbps
	2/4	1.2 Mbps	2.4 Mbps	3.6 Mbps
	3/4	1.8 Mbps	3.6 Mbps	5.4 Mbps
16 QAM	2/4	2.4 Mbps	4.8 Mbps	7.2 Mbps
	3/4	3.6 Mbps	7.2 Mbps	10.7 Mbps
	4/4	4.8 Mbps	9.6 Mbps	14.4 Mbps

Tabla 2.9 Ratios de capacidad

PETICIÓN DE REPETICIÓN AUTOMÁTICA (ARQ) HÍBRIDA RÁPIDA

Otra técnica de HSDPA hace referencia a Petición de Repetición Automática (ARQ) híbrida rápida (Fast Hybrid ARQ). ‘Híbrido’ hace referencia al proceso de combinar transmisiones de datos repetidos con transmisiones previas para incrementar la probabilidad de éxito en la decodificación y ‘Rápido’ hace mención a los mecanismos de corrección de error que se implementan en los Nodos B (junto con la planificación y la adaptación de conexión) a diferencia de las BSC (Base Station Controller) in

GPRS/EDGE El control y respuesta en tiempo real a las variaciones radio en la estación base en lugar de una red interna de nodos reduce los retrasos y mejora aun más, en general, el rendimiento de datos.

Usando las propuestas descritas anteriormente, HSPDA maximiza el rendimiento de datos y la capacidad y minimiza los retrasos. Para los usuarios esto se traduce en un mejor rendimiento de la red bajo condiciones de carga, mayor rapidez en la ejecución de las aplicaciones, además



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

de una gran variedad de aplicaciones con un buen funcionamiento, y un incremento de la productividad.

Los resultados en campo validan los resultados teóricos de rendimiento. Teniendo en cuentas estas propuestas y utilizando modulación QPSK, los operadores calcularon un ratio de rendimiento mayor de 1Mbps (al principio actualmente HSDPA fase 1 alcanza valores de 4,3 Mbps y fase 2 alcanzara 14 Mbps).

Debido a que el objetivo principal de este texto es el despliegue de GSM no se hará más hincapié en posteriores tecnologías, si desean más información consulten diferentes textos como:

-WCDMA for UMTS

-HSDPA/ HSUPA for UMTS

-www.umtsworld.com



3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

Para poder planificar una red móvil es necesario tener claro los conceptos sobre propagación de canales, por ello en primer lugar, antes de adentrarnos en la planificación de radio y transmisión, explicaremos brevemente los principios de los canales de propagación radio

En segundo lugar se explicaran las principales características de los elementos físicos, más importantes, presentes en la red. En los siguientes apartados se trataran los aspectos de la planificación de la red, tanto los aspectos radio como de transmisión y aquellos aspectos comunes a ambos.

3.1 CANALES DE PROPAGACION RADIO.

Este apartado describe los mecanismos de propagación, la propagación multitrayecto, las principales diferencias entre desvanecimiento rápido y lento y los factores que provocan pérdidas en la propagación.

3.1.1 MECANISMOS DE PROPAGACIÓN

En este apartado nos centramos en los fenómenos de reflexión [Figura 3.1] , absorción y difracción:

Reflexión: Partiendo del concepto de propagación en el espacio libre, existen, principalmente, dos tipos de reflexión, reflexión especular y reflexión difusa:



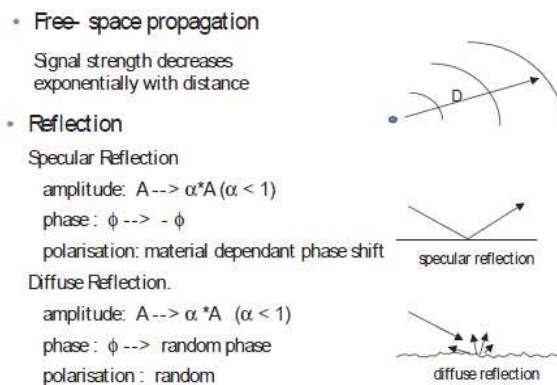


Figura 3.1 Tipos de reflexión

Como se observa en la imagen las principales diferencias entre la reflexión especular y la difusa radican en la fase y la polarización, ya que en la reflexión difusa ambos toman valores aleatorios.

-Absorción: a señal propagada se ve atenuada debido a los distintos elementos que debe atravesar, cada material tiene una absorción diferente

-Difracción Existen diferentes tipos dependiendo de los obstáculos y de cómo afectan estos a la señal:

Modelo de cuña (wedge model)

Modelo filo de cuchillo (knife edge)

Modelo filo de cuchillo múltiple (múltiple knife edge)

3.1.2 MULTITRAYECTO Y DESVANECIMIENTO

El canal radio es recíproco en intensidad de campo. Esto significa que la propagación de una señal de A a B experimentara las mismas pérdidas de trayecto y atenuación que cuando la propagación sea de B a A. Es un hecho importante que hay que tener en cuenta cuando se trabaja con balance de potencia. La reciprocidad es cierta en la intensidad de campo, pero no



lo es para las condiciones de interferencia. Esto puede ser muy diferente en la localización del móvil respecto a la localización de la estación.

El canal radio móvil muestra dispersión en el tiempo como resultado de la propagación multitrayecto. Señales parciales toman diferentes trayectos hacia el móvil y consecuentemente llegan con diferente retraso de tiempo, del orden de microsegundos. A la velocidad de la luz ($c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) el retraso de 1 seg corresponde a una diferencia de trayecto de unos 300m aprox.

GSM precisa un ecualizador con una ventana de tiempo de 16 μseg que se utiliza en el receptor. Esto significa que todas las señales parciales que llegan dentro de esta ventana de tiempo son contribuciones válidas para la señal recibida. Las señales con un excesivo retraso actúan de manera contra productiva, como interferencia cocanal.[Figura 3.3]

Los ecualizadores se especifican según los siguientes tipos de retrasos:

- TU3: ambiente urbano típico a 3 km/h (peatones)
- TU50: ambiente urbano típico a 50 km/h (coches)
- HT100: terreno montañoso a 100km/h (vehículos en carretera)
- RA250: Áreas rurales a 250km/h (autopistas, trenes)

Se puede observar que no hay una estricta limitación en la velocidad de 250 km/h (130km/h para GSM1800) a pesar de algunos debates sobre este asunto. La tasa de error de bit puede, bajo ciertas condiciones a alta velocidad, exceder las especificaciones, pero esto no necesariamente corta la conexión. Se trata de un límite muy restrictivo, de hecho GSM900 ha estado funcionando exitosamente, cumpliendo las especificaciones, a velocidades de 400 km/h aprox y un operador alemán ha realizado pruebas de funcionamiento de GSM1800 en trenes de alta velocidad viajando a 250km/h.

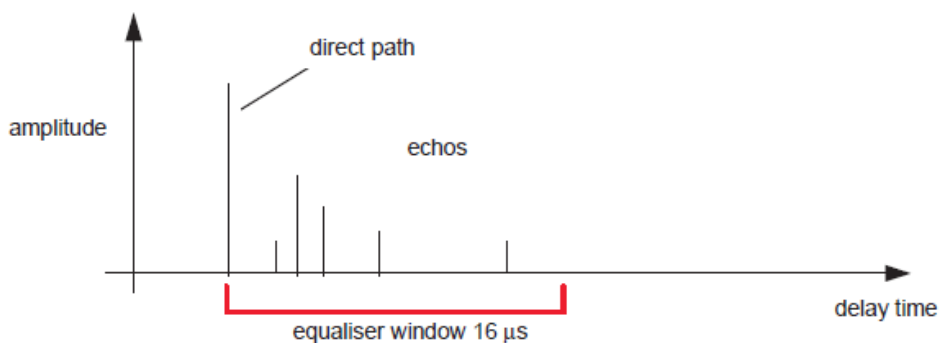


Figura 3.3 Multitrayecto y desvanecimiento



3.1.2.1 DESVANECIMIENTO

Se pueden distinguir distintos tipos de mecanismos de desvanecimiento en el entorno radio:

-Desvanecimiento Suave: esto se debe a la zonas de sombras producidas por las estructura del terreno y grandes obstáculos. Esto es del orden de 10 s de longitud de onda. El desvanecimiento suave se puede describir matemáticamente como una distribución gaussiana.[Figura 3.4]

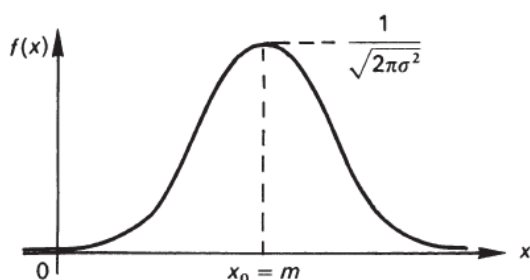


Figura 3.4 Desvanecimiento suave

-Desvanecimiento rápido o de Rayleigh: Este fenómeno se debe a la propagación multitrayecto de la señal. Las señales con la misma amplitud y fase opuesta se superponen y se eliminan. Esto crea desvanecimientos locales (se pueden distinguir fácilmente) del orden de fracciones de longitudes de onda. El proceso del desvanecimiento Rayleigh se aplica a trayectos de propagación bloqueados (condiciones sin línea de vista N-LOS) y se puede modelar matemáticamente con la distribución de Rayleigh.[Figura 3.5]

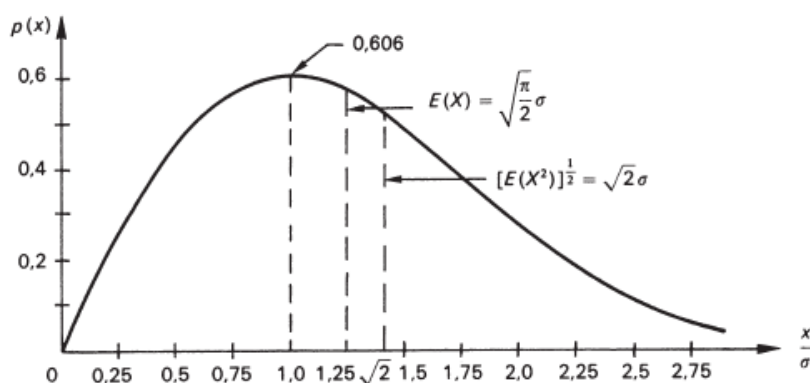


Figura 3.5 Desvanecimiento rápido



-Desvanecimiento Rician: Es la combinación de las dos condiciones anteriores: desvanecimiento Rayleigh cuando no existe bloqueo en la propagación de la señal. El ratio de energía de señal directa a señal indirecta es el “factor Rice”. Este tipo de desvanecimiento se aplica en los trayectos de propagación parcialmente bloqueados. Se modela matemáticamente con la distribución de Rician.[Figura 3.6]

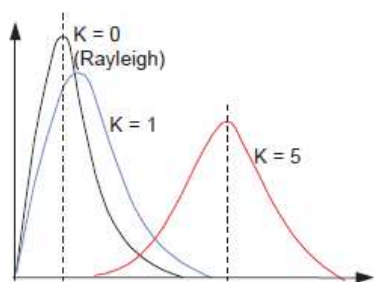


Figura 3.6 Desvanecimiento Rician

En el entorno de las comunicaciones móviles, la señal recibida, generalmente, no se recibe directamente (lo cual frecuentemente incluso no existe), en su lugar se reciben una variedad de diferentes e independientes trayectos de propagación (propagación multitrayecto).

La señal recibida se puede ver como la superposición de varias señales parciales individuales sobrepuestas, cada una con una cierta amplitud y fase (señales complejas). Cada señal parcial corresponde a un cierto trayecto de propagación. Cada señal ha experimentado varias reflexiones y difracciones, cada una de ellas causando atenuación en la amplitud y un desfase aleatorio. El vector señal resultante está compuesto por la suma vectorial de sus componentes, [Figura 3.7]. En cada instante la señal parcial toma diferentes valores (complejos), de este modo también influye en el vector resultante.

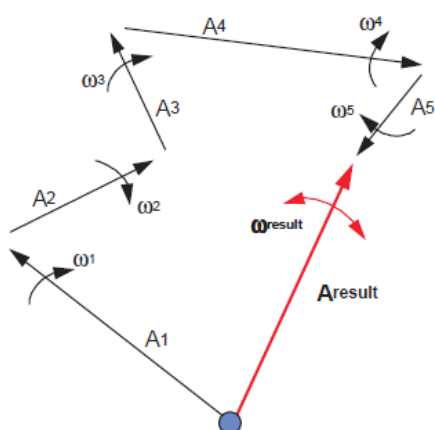


Figura 3.7 Vector señal resultante



3.1.3 ATENUACIÓN POR PROPAGACIÓN Y DIFERENTES ENTORNOS

Se puede demostrar fácilmente que en el espacio libre la potencia disminuye en relación con la distancia desde la antena al cuadrado. La siguiente ilustración explica este mecanismo básico.

- Pérdidas en el espacio libre proporcionales a $1/d^2$ [Figura 3.8]

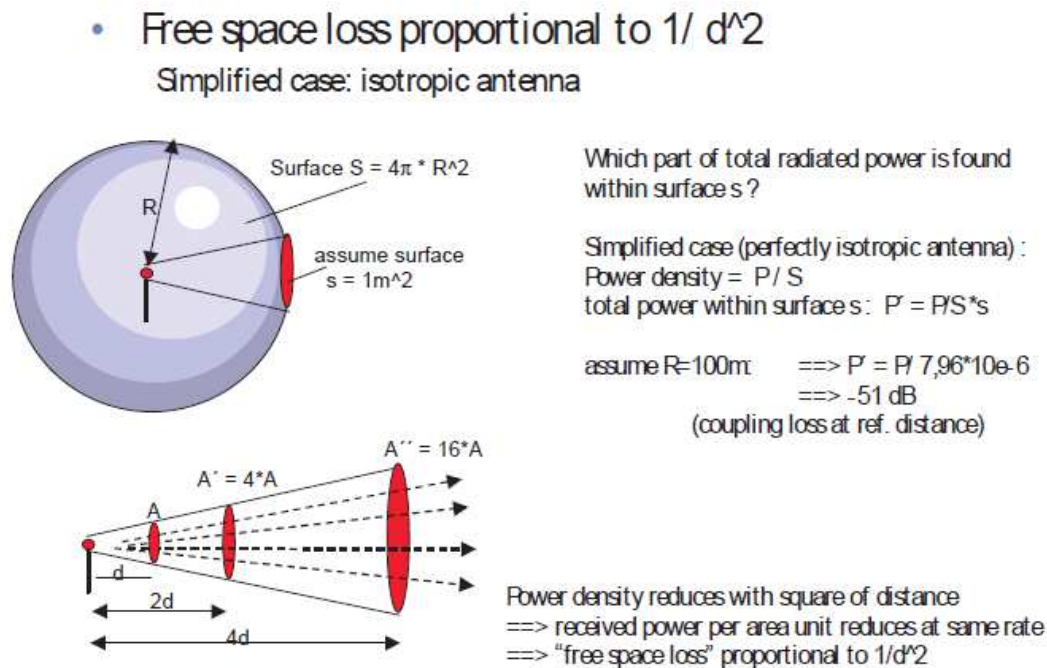


Figura 3.8 Pérdidas en el espacio libre proporcionales a $1/d^2$

Las señales radio se atenúan, en el mejor de los casos, en proporción al cuadrado de la distancia (desde la antena). Esto es simplemente una ley física, válida para todas las bandas de frecuencia y todo tipo de modulación. En comunicaciones móviles, los niveles de señal disminuyen proporcionalmente a la distancia elevada al cubo o al cuadrado, dependiendo del terreno.

La atenuación de la señal se expresa, normalmente, en "dB por década" o en "dB por octavo" (significa el doble de distancia) Una década tiene 3.32 octavos. A continuación se muestran las fórmulas básicas de propagación de señal [Figura 3.9]:



- Power density by the receiving end: $S = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2}$
- Effective antenna area: $A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_R$
- Received power: $P_r = S A_{eff}$
- Mobile environments: $P_r = P_t G_t G_r C d^{-\gamma}$ (with $\gamma = 2, 5 \dots 5$)

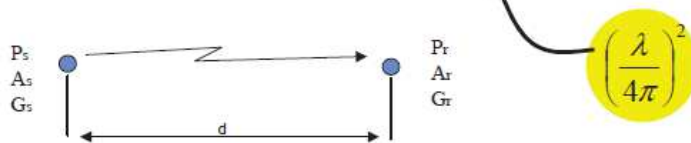


Figura 3.9 Fórmulas básicas de propagación de señal

En tecnología radar la potencia recibida es inversamente proporcional a la potencia elevado a la cuarta debido a que la señal recorre la distancia dos veces.

En comunicaciones móviles la distancia se recorre una sola vez, pero el trayecto de la propagación no es en el espacio libre, sino que es fuertemente bloqueado en la mayoría de los casos, causando pérdidas considerables. Los niveles de señal recibida son inversamente proporcionales a la distancia elevada del cuadrado a la quinta, dependiendo del entorno entre transmisor y receptor.

3.1.3.1 PÉRDIDAS DE PROPAGACIÓN

Las pérdidas en radio-propagación normalmente son calculadas en escala logarítmica, en dB. Las pérdidas tienen una relación exponencial con la distancia. Las fórmulas de pérdida de propagación están basadas en la fórmula de pérdidas en el espacio libre con un factor adicional de corrección empírica. A continuación se puede observar la fórmula básica de pérdidas y los valores típicos de atenuación:

[Figura 3.10]



- Basic loss formula

$$L = L_0 + \alpha \log(d)$$

losses are exponential with distance

loss at reference point (e.g. 1km)

- Clutter loss factors

- land-usage classes
- usually stated in dB/decade
- e.g. :

free space	20 dB/dec
open countryside	25 dB/dec
suburban areas	30 dB/dec
urban area	40 dB/dec
historic city centre	>45 dB/dec

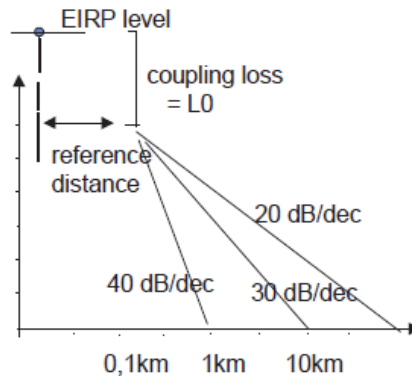


Figura 3.10 Fórmula básica de pérdidas y los valores típicos de atenuación

Los niveles de atenuación de la señal son distintos en diferentes entornos (es lo que se conoce como (tipos de uso de la tierra). Atenuación típica de la señal varía entre 20 y 45 dB/ década.

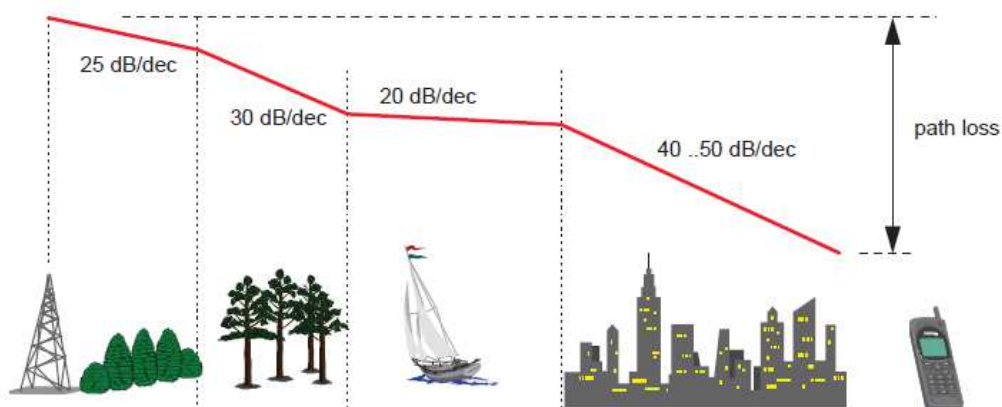


Figura 3.11 Niveles de atenuación

La atenuación de la señal radio depende del entorno que la señal tenga que atravesar. Se puede observar un aumento en la potencia de la señal a pesar del incremento de la distancia, cuando el receptor vuelve a una zona abierta después de atravesar un entorno urbano, causando un gran exponente de atenuación. Desde ese momento la potencia recibida depende del entorno cercano al receptor. No se produce un aumento abrupto de la potencia sino un incremento gradual, como si el móvil entrase en un área abierta. En la siguiente figura, se representa lo descrito anteriormente. [Figura 3.12]



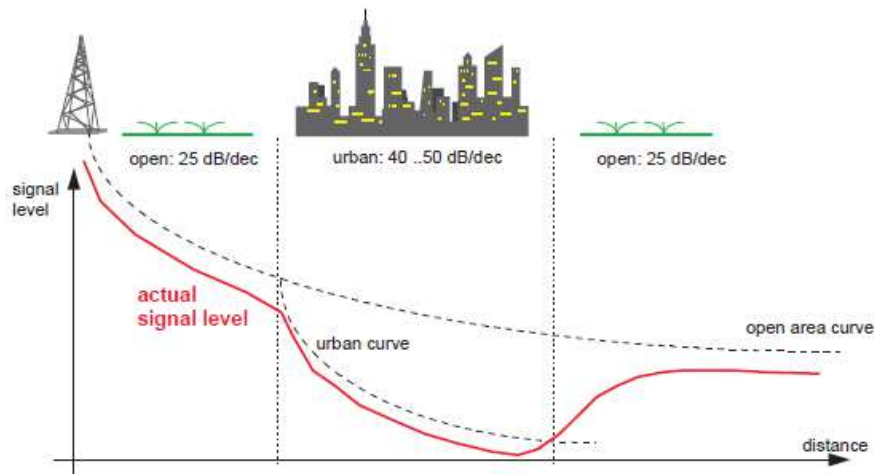


Figura 3.12 Comparación de los niveles de atenuación

En el ejemplo anterior se puede observar cómo se atenúa la señal al pasar de un ambiente al aire libre a una zona urbana y como la señal vuelve a aumentar una vez que se abandona la zona urbana.

4. RECOGIDA DE DATOS PARA EL ESTUDIO DE ESTACIONES BASE

4.1. BALANCE DE ENLACE

Con el fin de realizar el estudio y para poder calcular los niveles de cobertura que existen en una localización, se ha de saber si el nivel de potencia recibida es mayor que la sensibilidad. Para ello calculamos las potencias transmitidas por las antenas de la BTS, la potencia transmitida por la antena del terminal y será necesario que estas sean mayores que la sensibilidad de ambos.

A la hora de calcular la potencia recibida en un punto se tienen en cuenta varios factores, por un lado las potencia emitidas y por el otro las pérdidas de propagación derivadas de la propia transmisión de las ondas.

De esta manera se traduce el balance de enlace:

Potencia Recibida Móvil = Potencia Transmitida (BTS)-Lcable BTS+ Ganancia Antena BTS – Lpropagación + Ganancia Antena Móvil

Potencia Recibida BTS = Potencia Transmitida (MS)+ Ganancia Antena Móvil – Lpropagación – Lcable BTS + Ganancia Antena BTS

Ahora se comenzará a desgranar cada uno de los elementos que se intervienen en nuestras ecuaciones.

4.1.1. POTENCIA RECIBIDA

Los elementos que proporcionan potencia en nuestro enlace de comunicación son:

- BTS: equipo que gestiona las llamadas.
- ANTENAS: Amplifican la señal que les llega desde la BTS o desde el aire.
- MOVIL: teléfono.

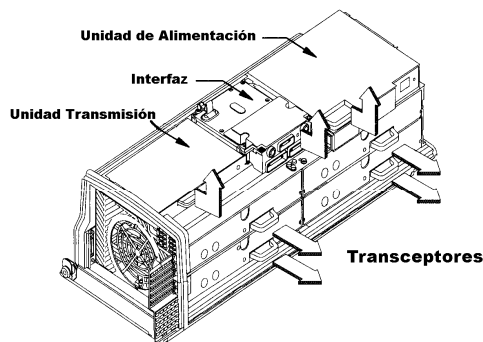


4.2.1.1 BTS

Hay diferentes equipos, dependiendo de las necesidades del sistema o punto donde se encuentre la BTS.

Para los equipos de GSM nos encontramos con equipos tipo micro que proporcionan una potencia de salida de aproximada de 10w por portadora, siendo la potencia máxima de salida de 10W. Otro tipo de equipo son los macro, en los que la potencia máxima de salida suele ser unos 20w. La potencia máxima viene determinada por la potencia de la primera portadora del equipo, aunque luego podemos ampliar el número de portadoras, esto solo nos hará perder potencia ya que necesitaremos elementos auxiliares de rf para combinar, diplexar o acoplar la señal, dependiendo de la necesidad. Unos ejemplos de estos equipos son:

-NOKIA METROSITE: El equipo micro, que puede tener hasta cuatro portadoras, cada portadora soporta ocho llamadas, pero la primera que se coloca tiene un canal reservado para la señal de control y otro para sms. Estos equipos pueden colocarse tanto en el exterior como en interior. Tiene ventilación incorporada y no llevan baterías con lo que una falta de suministro eléctrico interrumpe el servicio. [Figuras 4.14 y 4.15]

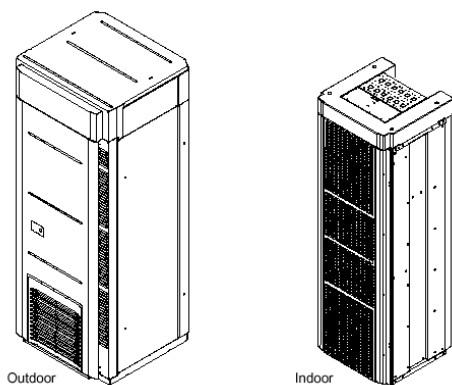


Figuras 4.14 y 4.15 Nokia Metrosite



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

-NOKIA ULTRASITE: Se trata de un equipo macro en el que podemos tener hasta un total de 12 portadoras con ocho llamadas cada una, a excepción de la primera portadora con canal de control y mensajes, puede gestionar seis llamadas. Existe versión de exterior e interior y una versión un poco más pequeña apta para ocho portadoras. Sin baterías. Proporciona una potencia de salida de la portadora de 40w, pero lo normal es que esta valla combinada y luego diplexada, con lo cual la potencia de salida para estos equipos viene a ser 8w. [Figuras 4.16 y Figura 4.17]



Figuras 4.16 Nokia Ultrasite



Figuras 4.17 Nokia Ultrasite

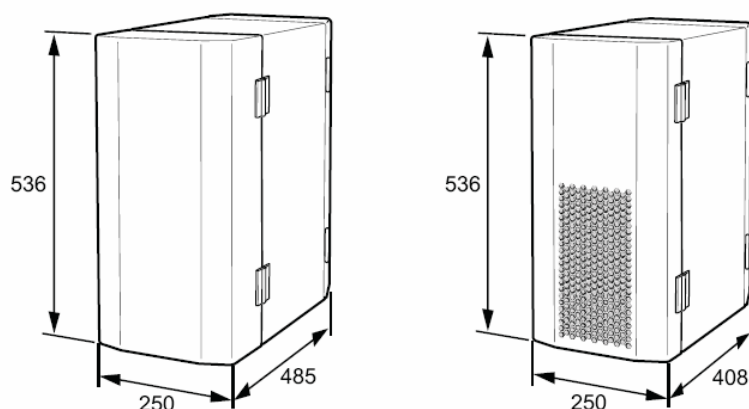
Para el sistema de DCS se utilizan los mismos bastidores pero con tarjetas DCS, siendo las características idénticas que para GSM.



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Otros ejemplos para los equipos UMTS:

-ERICSSON 3308: Se trata de un equipo tipo micro, con una portadora de 20w. [Figura 4.18]



Figuras 4.18 Ericsson 3308

-ERICSSON 3206: Este equipo nos proporciona una potencia de 40 w a la salida de la portadora, con la diferencia de que no sufren atenuación antes de salir del bastidor, ya que no utilizan combinadores. [Figura 4.19 y Figura 4.20]

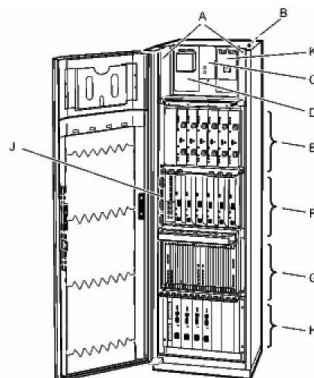


Figura 4.19 y Figura 4.20 Ericsson 3206

-ERICSSON 3106: Se trata de un equipo de exterior prácticamente autónomo, dispone de baterías, aire acondicionado, rectificadores... Nos proporciona una potencia a la salida de la portadora de 20w. [Figura 4.21 y Figura 4.22]



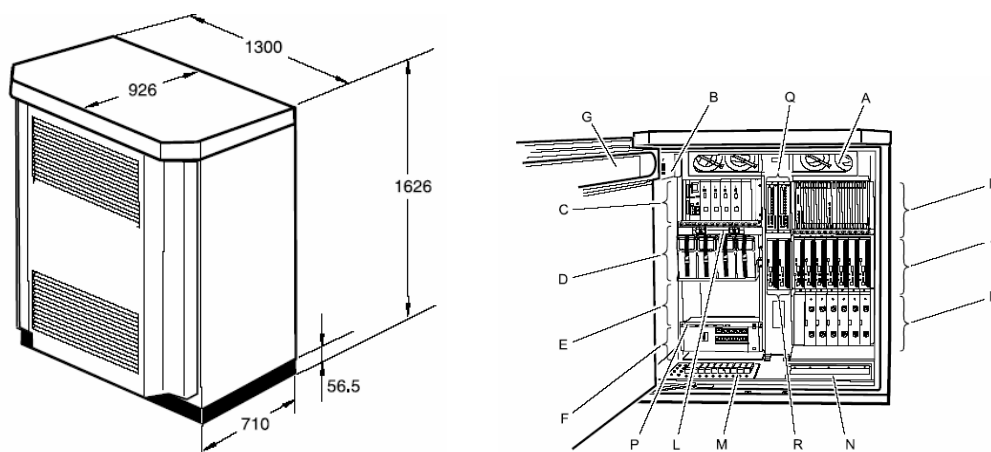


Figura 4.21 y Figura 4.22 Ericsson 3106

Así que dependiendo de las necesidades del terreno utilizaremos unos equipos u otros. En nuestro caso todos los equipos propuestos son tipo macro ya que nos encontramos en el centro urbano, con mucha demanda de llamadas y necesitaremos un número grande de portadoras y una potencia grande.

4.2.1.1 ANTENAS

Con las antenas ocurre lo mismo, existe una antena por cada necesidad existente. Hay antenas que proporcionan poca potencia, normalmente relacionadas con estaciones tipo micro. Antenas con ganancias mayores para estaciones base tipo macro. Aunque la necesidad de cobertura es la que en principio tendremos que tener en cuenta para la elección de estas, otro dato importante es la localización de las mismas.

Cada tipo de antena tiene un tipo de paralelepípedo asociado que nos indica la distancia desde el centro de la antena en el que la radiación es mayor y no debe estar al alcance de las personas. Así que en zonas de paso procuraremos poner antenas con potencias pequeñas y un paralelepípedo menor que el de antenas que proporcionen más potencia.

Otra de las características que definirán la colocación de unas u otras antenas será su esquema de polarización que nos indica el haz de radiación de la antena. Distinguiéndose tipos como omnidireccional, sectorial, bidireccional

ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Ponemos un ejemplo de estilos antenas diferentes:

ANTENAS TIPO MICRO:

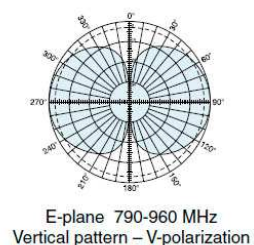
-Moyano 1743: Antena que proporciona 8 dBi para GSM de ganancia y 7.5 dBi para UMTS. Su tamaño es de 20*20*6 cm aprox. Radia de frontalmente. [Figura 4.23]



Figura 4.23 Antena Moyano 1743

-Kathrein 738445: Se denomina aleta de tiburón por la forma, esta es bidireccional, con una ganancia de salida: GSM 790–960 MHz 5 dBi, DCS 1710–1880 MHz 5.5 dBi, UMTS

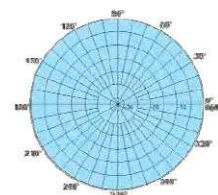
1880–2170 MHz 6.5 dBi .[Figura 4.24 y Figura 4.25]



Figuras 4.24 y Figura 4.25 Antena Kathrein 738445 y Patrón de radiación.



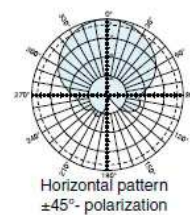
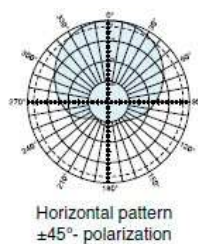
-Moyano 1911: Se trata de una antena omnidireccional para UMTS con una ganancia de salida de 11.5 dBi. [Figuras 4.26 y Figura 4.27]



Figuras 4.26 y Figura 4.27 Antena Moyano 1911 y Patrón de radiación.

ANTENAS TIPO MACRO:

-KATHREIN 742265: Se trata de una antena de panel unidireccional, con una ganancia de salida: GSM 880–960 MHz 16 dBi, DCS 1710–1880 MHz 17.8 dBi, UMTS 1900–2100 MHz 18.3 dB. [Figura 4.28 , Figura 4.29 , Figura 4.30 y Figura 4.31]



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Figura 4.28 , Figura 4.29 y Figura 4.30 KATHREIN 742265, Patrón de radiación para GSM y Patrón de radiación para DCS/UMTS

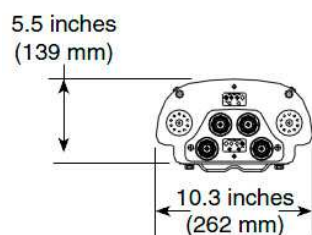


Figura 4.31 Detalle conexiones KATHREIN 742265.

-KATHREIN 80010504: Se trata de una antena de panel unidireccional, con una ganancia de salida: DCS 1710–1880 MHz 2 x 17.5 dBi, UMTS 1900–2100 MHz 2 x 17.7 dBi.

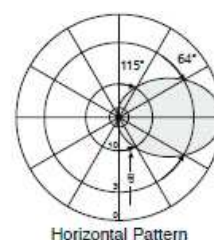


Figura 4.32 , Figura 4.33 y Figura 4.34 KATHREIN 80010504, Patrón de radiación para DCS y Patrón de radiación para UMTS



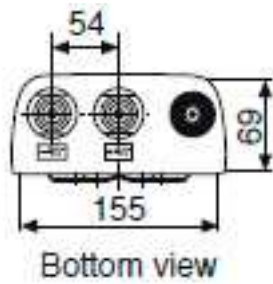


Figura 4.35 Detalle conexiones KATHREIN 80010504.

-ECOWB: Se trata de una antena unidireccional, con una ganancia de salida: DCS 1710–1880 MHz 2 x 17.3 dBi, UMTS 1900–2100 MHz 2 x 17.6 dBi.

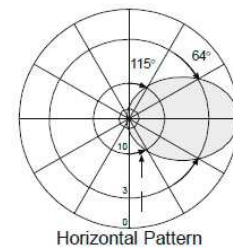
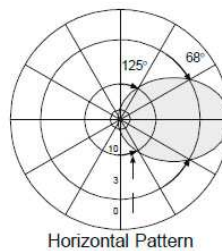


Figura 4.36 , Figura 4.37 y Figura 4.38 ECOWB, Patrón de radiación para DCS y Patrón de radiación para UMTS

4.1.2. PERDIDAS

Desde el momento en que la señal sale desde nuestras portadoras hacia la antena, esta recorre un camino en el que se encuentra con muchos obstáculos, estos, proporcionan unas pérdidas importantes dependiendo de la longitud que tenga que recorrer, el tipo de cable usado, la necesidad de combinar con otras señales... factores que ahora veremos.

Luego nos encontramos con las pérdidas de propagación que son las que van desde la antena hasta el móvil, estas dependen del medio, si estamos en una ciudad, en campo abierto, si llueve...

4.1.2.1 PÉRDIDAS ELEMENTOS MATERIALES

CABLE

Normalmente se utiliza cable coaxial para la transmisión de la señal desde el bastidor hasta la antena, pudiendo ser este desde media pulgada para recorridos no superiores a 20 m, hasta de 7/8 de pulgada para recorridos muy largos de más de 20 m. Los cables de 7/8 tienen menos pérdidas. Estas pérdidas serán proporcionales a la distancia, cuanto mayor sea, mayores pérdidas. También depende de la frecuencia, mayores pérdidas a mayores frecuencias.

Este es un punto importante a tener en cuenta en la planificación, en terrenos urbanos, como suele ser habitual las antenas se colocan en las azoteas o tejados de los edificios. Si podríamos colocar los equipos muy cerca de las antenas nos resultaría muy útil, sin embargo, si colocamos las antenas muy alejadas del bastidor, la tirada de cable será larga y esto implicará muchas pérdidas.

Otro punto a tener en cuenta, son los conectores usados para unir los cables con los demás elementos. Normalmente del bastidor sale un cable de media pulgada supe flexible para poder colocar en el rejiband de subida a antenas. Se utiliza este porque el 7/8 no permite curvas muy pronunciadas. Esto implica una transición en el cable y dos conectores para unir los dos tipos de cable. Seguimos con 7/8 hasta dos metros antes de las antenas, ya que si queremos embocar el cable tendremos que utilizar otra vez superflex, y por consiguiente otros dos conectores. Esto proporciona unas pérdidas de 0.2 dB aproximadamente por cada conector y tendremos que sumarle 0.1 por descargador.

Si tendríamos una tirada de menos de veinte metros, usaríamos cable supe flexible para todo el recorrido y solo utilizaríamos conectores para el descargador, no habría ni una transición.

El número mínimo de conectores que nos podremos encontrar en una tirada de cable son dos, uno de unión al bastidor y otro de unión a la antena.



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Las pérdidas en los distintos cables varían de la forma:



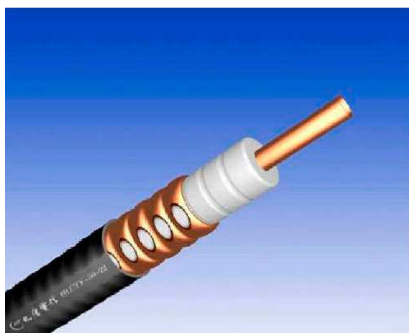
Frequency	Attenuation	Average Power
150MHz	4.35	2.51
280MHz	6.06	1.86
450MHz	7.83	1.41
800MHz	10.74	1.00
900MHz	11.47	0.96
1500 MHz	15.32	0.71
1800 MHz	17.02	0.62
2000 MHz	18.10	0.60
2400 MHz	20.15	05.2
3000 MHz	23.01	0.45

Figura 4.39 y Figura 4.40 Detalle cable coaxial 1/2 semiflexible y atenuación del mismo



Frequency	Attenuation
150 MHz	3.1
450 MHz	6.4
900 MHz	9.3
1800 MHz	12.9
2400 MHz	15.4

Figura 4.41 y Figura 4.42 Detalle cable coaxial 1/2 semirrígido y atenuación del mismo



Frequency	Attenuation
150 MHz	1.7
450MHz	3.4
900MHz	5.0
1800 MHz	7.2
2400 MHz	8.9

Figura 4.43 y Figura 4.44 Detalle cable coaxial 7/8 y atenuación del mismo



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

En este estudio vamos a tener en cuenta los conectores ya que suponen una pérdida de 0.2 dBi. Hay que tener en cuenta que nos encontramos con un mínimo de dos conectores por antena, el del bastidor y el de la antena.

ELEMENTOS AUXILIARES DE RADIO FRECUENCIA

Otro tipo de elementos son los combinadores, diplexores..., estos nos sirven para unir señales de diferentes frecuencias, para unir señales de la misma frecuencia pero de operadoras diferentes... Y estos también nos proporcionan una serie de pérdidas a tener en cuenta.

ACOPLADOR INFACOM: Acoplador Infacom Dual [Figura 4.45 y Figura 4.46]



Figura 4.45 Acoplador Dual Infacom

MODELO	FREC. TRABAJO. (GHz)	ACOPLAMIENTO NOMINAL ± 0.5 (dB)	DIRECTIVIDAD (dB MIN)	VSWR (MÁX)	PÉRDIDAS INSERCIÓN (dB MÁX)*	POTENCIA INCIDENTE (W MÁX)	DIAGRAMA
IF-T/20CD	0.38 – 0.42	20	23	1.15:1	0.2	100	1
IF-T/30CD	0.38 – 0.42	30	23	1.15:1	0.2	100	1
IF-01/20CD	0.8 – 0.98	20	20	1.15:1	0.4	100	2
IF-01/30CD	0.8 – 0.98	30	20	1.15:1	0.4	100	2
IF-02/20CD	1.7 – 1.9	20	20	1.20:1	0.4	100	3
IF-02/30CD	1.7 – 1.9	30	20	1.20:1	0.4	100	3
IF-03/20CD	1.9 – 2.2	20	20	1.20:1	0.4	100	3
IF-03/30CD	1.9 – 2.2	30	20	1.20:1	0.4	100	3
IF-03/20CD	1.7 – 2.2	20	20	1.20:1	0.4	100	3
IF-03/30CD	1.7 – 2.2	30	20	1.20:1	0.4	100	3

Figura 4.46 Especificaciones del Acoplador Dual Infacom



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

COMBINADORES: IF-D302 [Figura 4.47 y Figura 4.48], este nos permite unir dos señales de la misma frecuencia, por ejemplo si queremos unir dos señales de dos portadoras diferentes.



Figura 4.47 Combinador IF-D302

Modelo	Frecuencia Trabajo (MHz)	Pérdidas Inserción (dB máx)*	Aislamiento (dB mín)	VSWR (máx)	Balance Amplitud (dB máx)	Balance Fase (° máx)	Potencia (W máx) (**)	Acabado
IF-D302	800-2200	0,5	23	1,20/1	0,2	2	50	D1
IF-D270	700-2700	0,6	20	1,25/1	0,2	2	50	D1

Figura 4.48 Especificaciones de Combinador IF-D302

DIPLEXORES: Kathrein Dual Band Combiner 793532: [Figura 4.49 y Figura 4.50] Este nos permite unir dos tecnologías diferentes.



Figura 4.49 Dual Band Combiner Kathrein



Technical Data

Type No.	793 532 Single Unit	793 533 Double Unit
Pass band Band 1 Band 2	806 – 960 MHz 1710 – 2170 MHz	
Insertion loss Port 1 ↔ Port 3 Port 2 ↔ Port 3	Typically 0.15 dB (806 – 960 MHz) Typically 0.25 dB (1710 – 2000 MHz) Typically 0.35 dB (2000 – 2170 MHz)	
Isolation Port 1 ↔ Port 2	> 45 dB (806 – 824 MHz) > 50 dB (824 – 960 MHz) > 50 dB (1710 – 2170 MHz)	

Figura 4.50 Especificaciones Dual Band Combiner Kathrein

DESCARGADORES:

En principio, aunque se trata de un elemento que solo proporciona perdidas, es muy importante. Absorbe el exceso de corriente electrica que pasa por el cable, es decir si cae un rayo a las antenas y este es transmitido hacia la sala de equipos, los descargadores no permitiran que llegue a los equipos.[Figura 4.51]

Product Specifications



APTDC-BDFDF-DB

Arrestor Plus® Dual Band Quarterwave dc Passing Surge Arrestor (T-shaped), 806-960 MHz and 1700-2170 MHz, with interface types DIN Female Bulkhead and DIN Female



CHARACTERISTICS

General Specifications

Interface	7-16 DIN Female Bulkhead
Interface 2	7-16 DIN Female Bulkhead
Body Style	Bulkhead

Electrical Specifications

Operating Frequency Band	1710 – 2000 MHz 2000 – 2170 MHz 806 – 960 MHz
3rd Order IMD	+117.0 dB
3rd Order IMD Test Method	Two +43 dBm Carriers
Average Power	3000 W
Connector Impedance	50 ohm
Gas Tube Voltage	350 V
Lightning Strike Capability	10 times @ 30 kA
Lightning Strike Capability Test Method	IEEE C62.42-1991
Lightning Strike Capability Waveform	8/20 waveform
Lightning Strike Current	30 kA
Lightning Strike Current Waveform	8/20 waveform
Peak Power, maximum	40.00 kW
Insertion Loss, typical	0.05 dB

Figura 4.51 Hoja especificaciones descargadores



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

De esta manera se ha recorrido todos los elementos desde la BTS hasta la antena, a continuación se expone unos cuantos ejemplos de las posibles combinaciones en las estaciones base. En cada estación nos encontramos con características diferentes y sobre todo en medios urbanos, donde siempre vas a buscar localizaciones existentes que no estaban pensadas para la colocación de estaciones base. A lo largo del estudio se verá las características de cada una de ellas.

Cuando se buscan futuros emplazamientos para la colocación de antenas, se tienen muchos aspectos técnicos en cuenta, posición, altura, tamaño del recinto... Pero la realizada es que al final son los dueños de los edificios los que deciden si quieren colocar una antena y que espacios están dispuestos a ceder. Es en función a estas características cuando se trata de adecuar lo mejor posible la estación.

Otro punto a tener en cuenta es la reutilización de materiales, no siempre se compran equipos, muchas veces cuando se desmontan estaciones aprovechamos los equipos para otras estaciones, y esto limita el rango de acción.



4.1.3 ESQUEMAS DE RADIO FRECUENCIA

Se trata de unos planos donde describimos las características de radio frecuencia que tiene cada estación. En este esquema deben aparecer los equipos, antena, cables y demás elementos que intervengan en nuestra estación.

4.1.3.1 ESQUEMA DE RADIOFRECUENCIA ESTACION TIPO MICRO

Esquema de radio frecuencia de una estación tipo micro con dos antenas y una portadora de UMTS: [Figura 4.51]

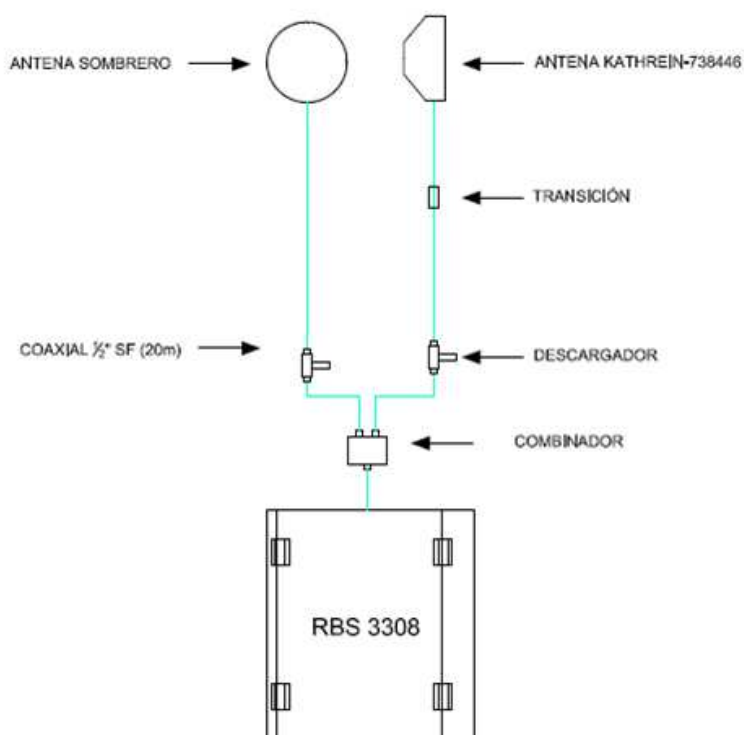


Figura 4.52 Esquema radiofrecuencia

Este tipo de esquema nos proporciona toda la información que se necesita del sistema radiante de un simple vistazo, nos basaremos en él para calcular las potencias.

Como se puede observar tenemos un micro de UMTS 3308, este tipo se coloca en establecimientos pequeños, para dotar de cobertura espacios no muy amplios, por ejemplo: si la colocaríamos en unas oficinas, el equipo estaría en la sala de ordenadores, la antena panel



en mitad de la oficina y la aleta de tiburón la colocaríamos en la calle. De esta manera daríamos cobertura a la oficina y a la calle en la que se encuentre.

Como solo tenemos una portadora usamos un combinador para poder colocar dos antenas. También dibujamos los combinadores.

4.1.3.2 ESQUEMA DE RADIOFRECUENCIA ESTACION TIPO MACRO

Ejemplo de estación tipo macro de UMTS con un equipo 3206, vemos como los cables de los extremos son superflex y el resto 7/8: [Figura 4.53]

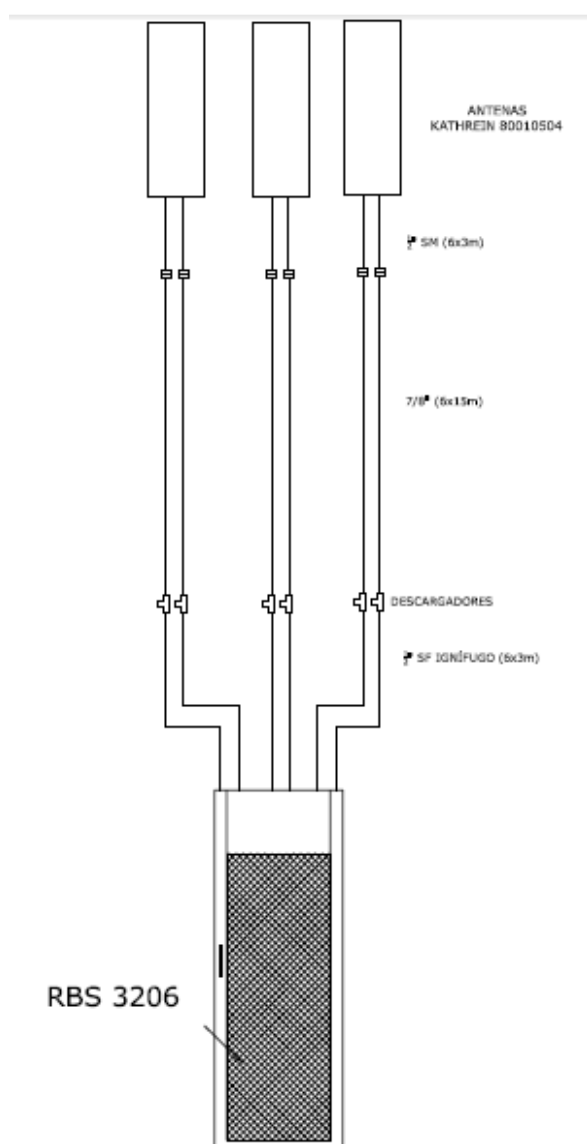


Figura 4.53 Esquema radiofrecuencia

4.1.2.2 PERDIDAS PROPAGACION

Estas son las pérdidas que vienen definidas por el medio, se va a utilizar el método COST 231 porque nuestro estudio se centra en un núcleo urbano. Este método es aplicable en situaciones de propagación para las cuales el rayo directo entre el transmisor y el receptor se ve obstruido por los edificios. Se programan estos cálculos en una hoja Excel

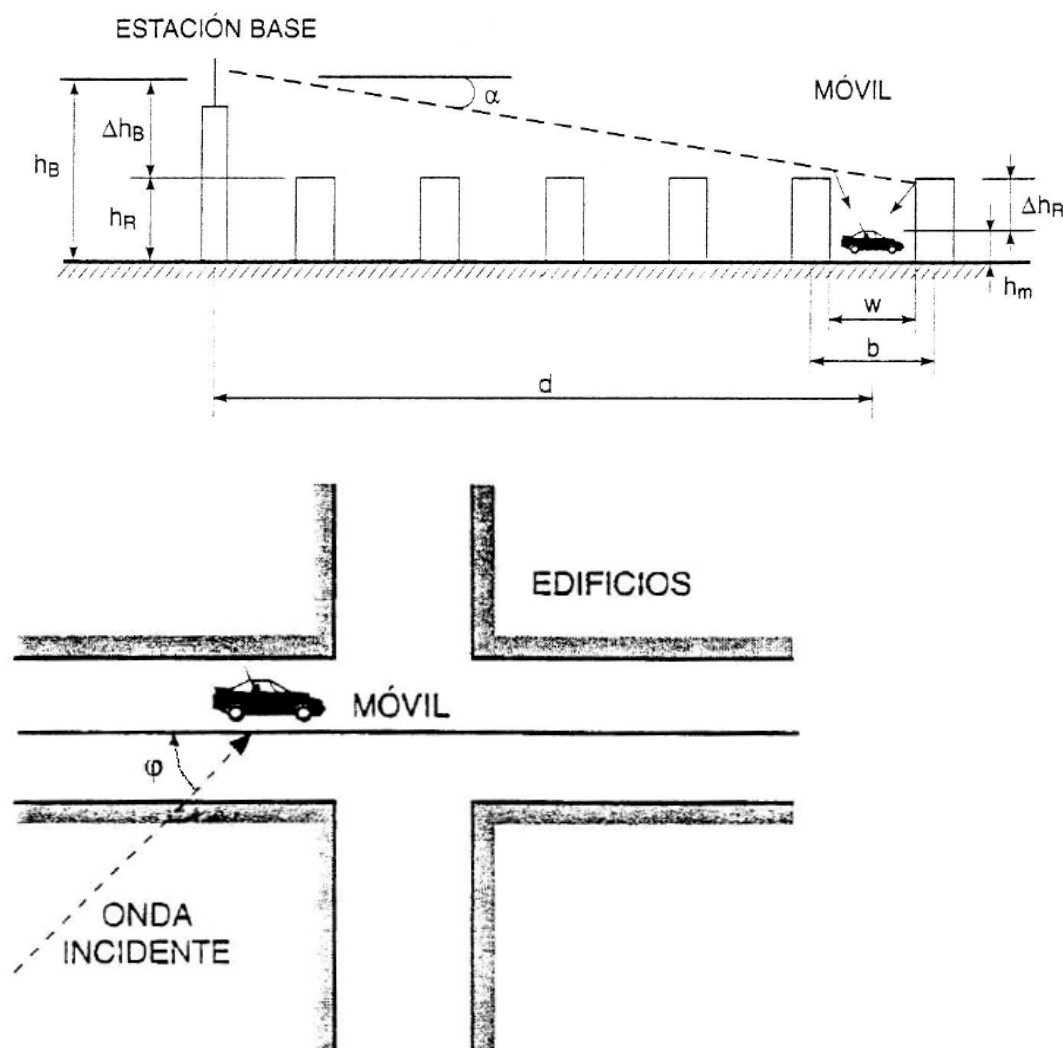


Figura 4.54 Esquema

h_B : Altura sobre el suelo de la antena de estación base (fija) (m).

h_m : Altura sobre el suelo de la antena del móvil (m)

h_R : Altura media de los edificios (m) ($h_R > h_m$)

W : Anchura de la calle donde se encuentra el móvil (m).

b : Distancia entre centros de edificios (m).



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

d : Distancia base-móvil (km).

α : Ángulo de inclinación del rayo ($^\circ$).

φ : Ángulo del rayo con el eje de la calle ($^\circ$)

$\Delta h_b = h_B - h_R$: Altura de la antena de la estación base sobre la altura media de los edificios circundantes (m).

$\Delta h_R = h_R - h_m$: Altura media de los edificios sobre la altura de antena del móvil (m).

De acuerdo con el método, la pérdida básica de propagación es:

$$L_b = L_{bf} + L_{rts} + L_{msd} \quad (14)$$

Donde:

L_{bf} es la pérdida en condiciones de espacio libre

$$L_{bf} = 32.45 - 20 \log f \text{ (MHz)} + 20 \log d \text{ (km)} \quad (15)$$

L_{rts} Es la pérdida debida a la difracción "tejado-calle" entre el tejado de los edificios y el móvil que se calcula mediante la ecuación:

$$L_{rts} = -8.2 - 10 \log w + 10 \log f + 20 \log \Delta h_R + L_{ori} \quad (16)$$

Si $L_{rts} \leq 0$, se toma $L_{rts} = 0$

El valor de L_{ori} tiene en cuenta el ángulo φ entre el rayo y el eje de la calle, como sigue:

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354\varphi, & 0 < \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\varphi - 35^\circ), & 35^\circ < \varphi < 55^\circ \\ 4 + 0.114(\varphi - 55^\circ), & 55^\circ < \varphi < 90^\circ \end{cases} \quad (17)$$



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

L_{msd} es una estimación de la “difracción multiobstáculo” que experimenta el rayo entre la antena transmisora y el edificio próximo al receptor, debido a los edificios interpuestos entre ambos. Su valor es:

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log d + k_f \log f - 9 \log b \quad (18)$$

Los parámetros que intervienen en esta expresión se calculan como sigue:

$$L_{bsh} = -18 \log (1 + \Delta h_B) \quad (19)$$

Si $\Delta h_B < 0$, $L_{bsh} = 0$

$$k_a = \begin{cases} 54, & \Delta h_B \geq 0 \\ 54 - 0.8 \Delta h_B, & \Delta h_B < 0 \text{ y } d \geq 0.5 \\ 54 - 0.8 \Delta h_B d^{0.5}, & \Delta h_B < 0 \text{ y } d < 0.5 \end{cases} \quad (20)$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & \text{para } \Delta h_B \geq 0 \\ 18 - 15 \Delta h_B / h_R & \text{para } \Delta h_B < 0 \end{cases} \quad (21)$$

$k_f = -4 + 0.7(f/925 - 1)$ *para ciudades de tamaño medio y zonas suburbanas*
con densidad de vegetación moderada

$k_f = -4 + 1.5(f/925 - 1)$ *para grandes centros metropolitanos* (22)

Si $L_{msd} < 0$, se toma $L_{msd} = 0$.

Si se desconocen los datos del medio urbano pueden utilizarse los siguientes valores por defecto:

b: 20 a 50 m .

w: $b/2$

h_R : 3(núm. de pisos)+ ático(m).

ático: 3 m (inclinado), 0 m (plano).

φ : 90°



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

La gama de valores de los parámetros dentro de la cual es aplicable el modelo, es la siguiente:

$$800 \leq f \leq 2000 \text{ MHz}$$

$$4 \leq h_B \leq 50 \text{ m}$$

$$1 \leq h_m \leq 3 \text{ m}$$

$$0.02 \leq d \leq 5 \text{ km}$$

Una vez que tenemos todo lo necesario para poder calcular las pérdidas, lo expresamos en una hoja Excel, anexo1.

Lo único que nos faltaría para poder definir todos los elementos de la ecuación de Potencia Recibida y poder calcular las Pérdidas de propagación, serían, las alturas de los edificios.



4.2 TOPOLOGIA.

4.2.1 DESCRIPCION TERRENO

Con el fin de poder realizar el estudio utilizamos la ubicación real de seis estaciones base. Se programa en Excel basándose en el método COST 231, las potencia recibidas en Ms y BTS, teniendo en cuenta los diferentes parámetros anteriormente descritos. Se tiene información de seis estaciones base colocadas en el medio Urbano de Pamplona, desde casco antiguo al segundo ensanche. Estas siete estaciones son:

PAULINO: situada en la calle Bergamin.

CORTES. Situada en la calle Amaya.

P/TUDELA: Situada en la calle Tudela.

P/ESLAVA: situada en la Plaza del Castillo.

MAISSONAVE: Situada en la calle Nueva.

CASINO: Situada en la Plaza del Castillo.

El centro de Pamplona tiene una peculiaridad ya que esta sobre elevado del la cuenca, se cree que esto puede influir en el método utilizado para estudiar la cobertura, ya se verá más adelante de que manera. Así en un principio las antenas están colocadas en las zonas más altas de la cuenca. [Figura 4.55, Figura 4.56]

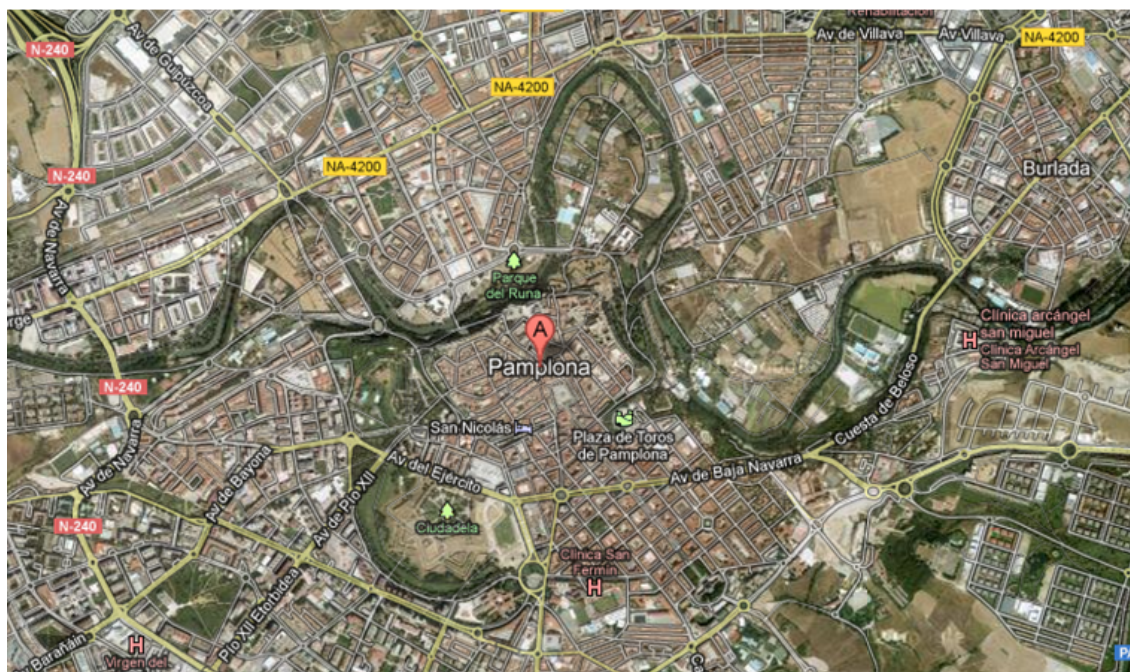


Figura 4.55 Zona en la que se realiza el estudio.





Figura 4.56 Localización de las estaciones base.

En la localización de futuras ubicaciones de las estaciones, lo primero que se tiene en cuenta es la altura a la que podremos poner las antenas. Tienen que estar en una posición dominante con respecto a los demás edificios, es decir se buscará ubicaciones altas, que predominen con respecto al resto. De esta manera siempre se pondrán las estaciones en edificios. Otra cosa a tener en cuenta es el espacio del que se dispondrá para la colocación de la misma, ya sea exterior, interior, tendremos unos equipos u otros. Existen EB de todas clases en el medio urbano, desde estaciones con un equipo de exterior y una antena, Hasta casetas situadas en terrazas. Esto nos lo marcarán las posibilidades de construcción y las necesidades de cobertura para ese punto. A lo largo del estudio se verá algunas de estas.

Una vez situadas nuestras estaciones se necesita obtener ocho radiales de cada una de ellas. De esta manera se cubrirá toda la célula para la que nuestra estación tiene cobertura. Los radios se obtienen con las siguientes orientaciones, 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° y 315° . [Figura 4.57, Figura 4.58, Figura 4.59]



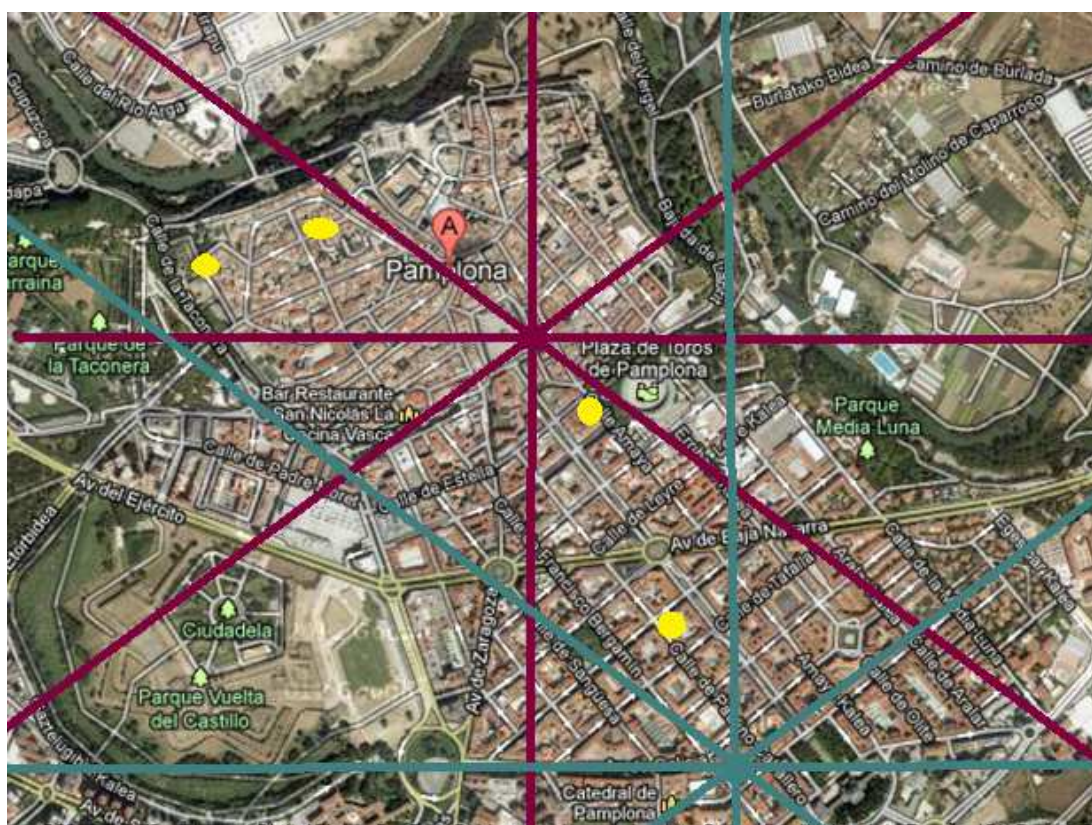


Figura 4.59 Cortes CT, P/Paulino Caballero y P/Tudela

Una vez fijados todos los puntos en los que realizaremos el estudio, nos centramos en conseguir los alzados topográficos de cada radio [Figura 4.60]. Para poder aplicar el método COST 231. Es decir se traducen las alturas de los edificios en matrices de alturas, para poder trabajar con ellos. [Tabla 1]

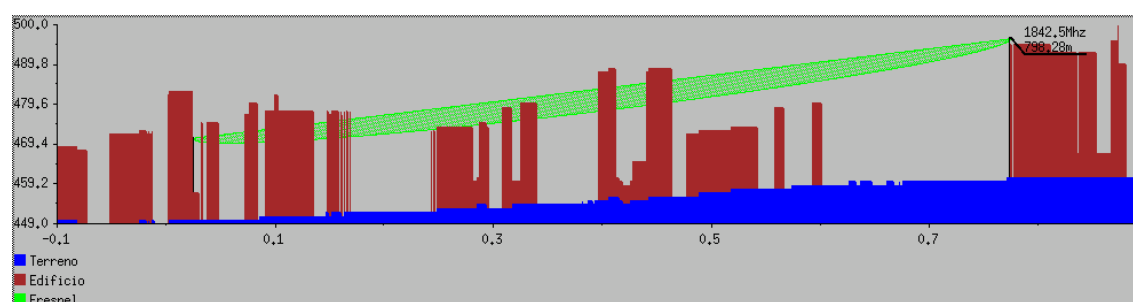


Figura 4.60 El alzado de P/PAULINO CABALLERO, para la radial de 135°.



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Altura(m)	Distancia (km)
478	0,001
478	0,002
478	0,003
478	0,004
478	0,005
478	0,006
478	0,007
478	0,008
445	0,009
445	0,01
.	.
.	.
.	.
.	.
.	.
.	.
.	.
.	.
479	0,991
479	0,992
479	0,993
479	0,994
479	0,995
458	0,996
458	0,997
458	0,998
458	0,999
458	1

Tabla 4.1 Matriz asociada a cada radial

Esto se ha realizado para cada radio de cada estación ANEXO2, es decir se tiene ocho radios por seis estaciones, 48 matrices de mil posiciones.



4.2.2 DESCRIPCION DE LA PROGRAMACION.

Lo primero que se hizo fue definir una Libro Excel por cada radio y tres hojas Excel, una por tecnología [Figura 4.61].

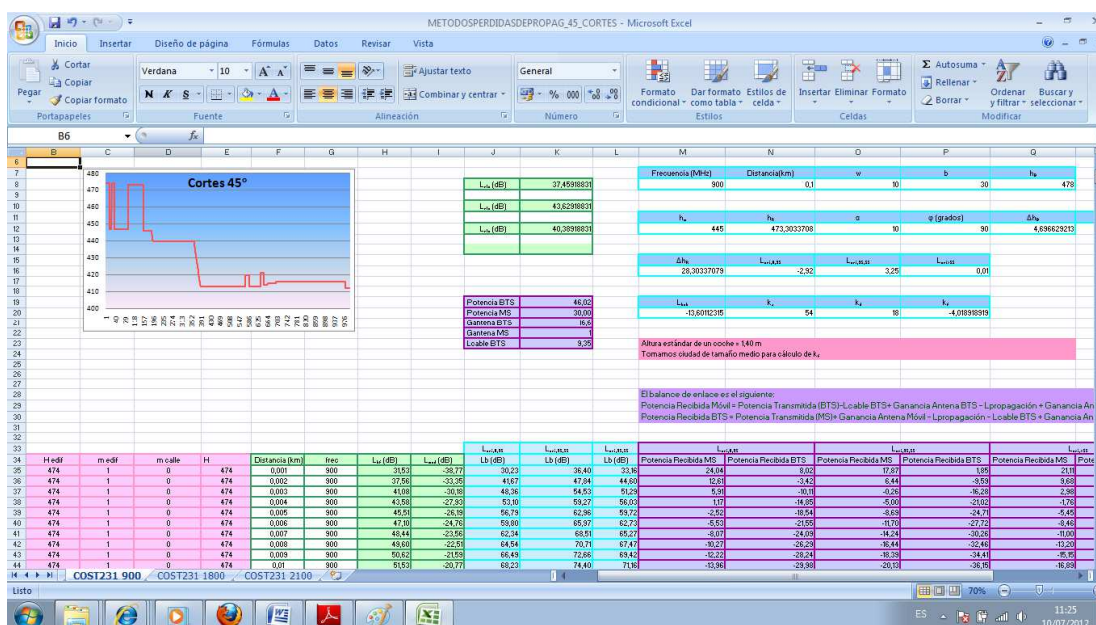


Figura 4.61. Libro Excel asociado a cada estación.

Se tiene como ejemplo este archivo llamado “METODOSPERDIDASDEPROPAGACION_0_CORTES45.XLS” que hace referencia a la estación de CORTES, al radio de 45°. En este archivo se tiene tres hojas, una para GSM, otra para DCS y otra para UMTS. De esta manera se tiene 48 radios por tres tecnologías 144 hojas Excel estudiando la cobertura.

Para programar las Excel se ha utilizado las formulas del método descrito paso a paso.

En principio se representa el alzado del radio [Figura 4.62]

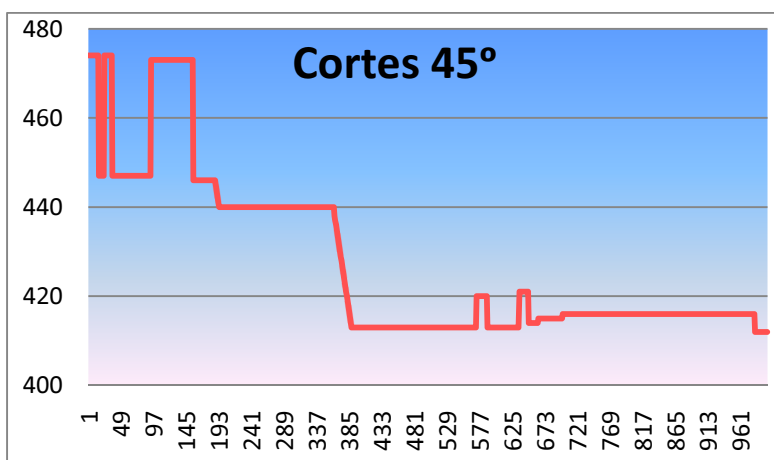


Figura 4.62 Alzado del radio obtenido.



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

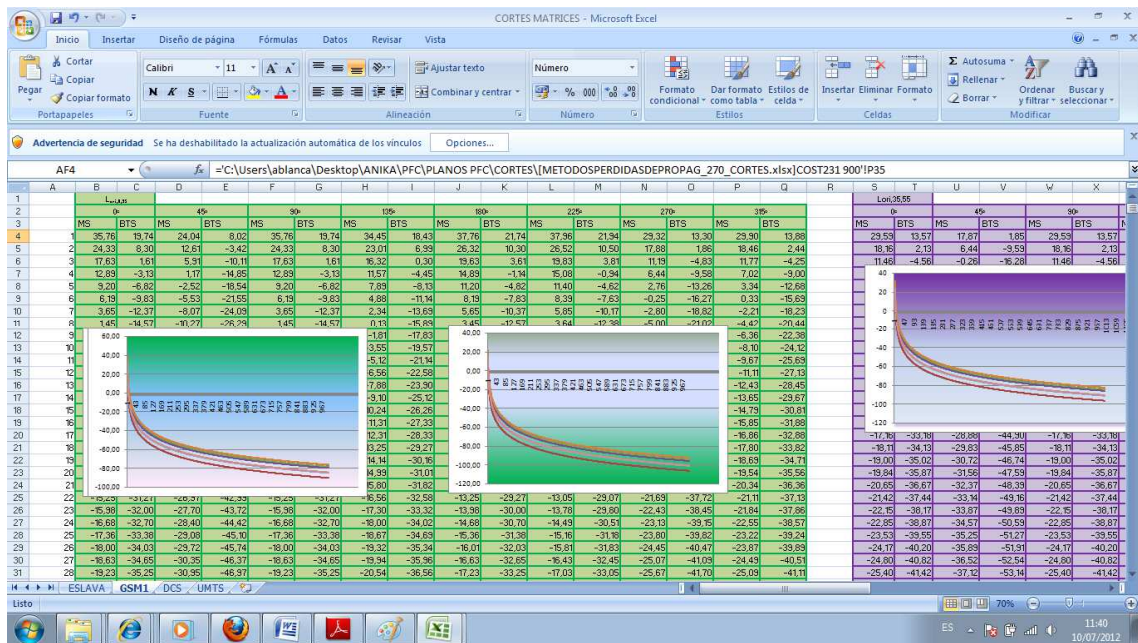


Figura 4.65 Las pérdidas por estación para cada tecnología.

En cada hoja se tiene tres tablas que representan los diferentes ángulos [Figura 4.66]

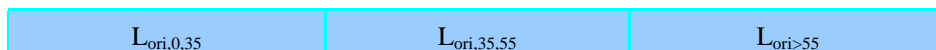


Figura 4.66 los diferentes ángulos para los que calculamos las pérdidas.

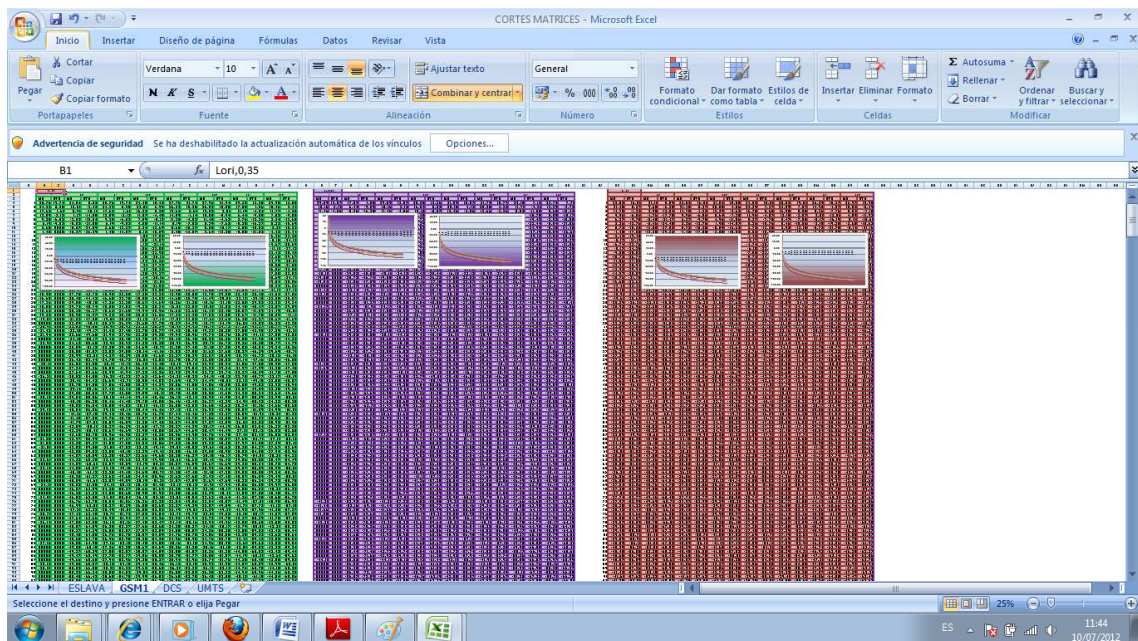


Figura 4.67 Representamos tres graficas por tecnología, representando los diferentes ángulos.



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Se representan dos gráficas por cada ángulo [Figura 4.67], una representa potencia recibida en la MS y otra en la Bts. De esta manera se tiene dos graficas por tecnología y estación.



5. DESCRIPCIÓN, PÉRDIDAS Y COBERTURA DE PAMPLONA

5.1 PAULINO CABALLERO.

Se trata de una estación base en el centro de Pamplona, en la calle Bergamin [Figura 5.1 y Figura 5.2]. Es uno de los edificios más altos que nos encontramos, se elige entre otras cosas por este motivo. La topografía de este lugar es de edificios altos de unas ocho alturas y con calles no muy anchas, por lo menos, en trescientos metros a la redonda. La sala de equipos [Figura 5.3] donde se encuentra las Bts está en la planta baja, nos encontramos con equipos de GSM, DCS y UMTS, Dos Nokia ultrasite y un Ericsson 3418 respectivamente.

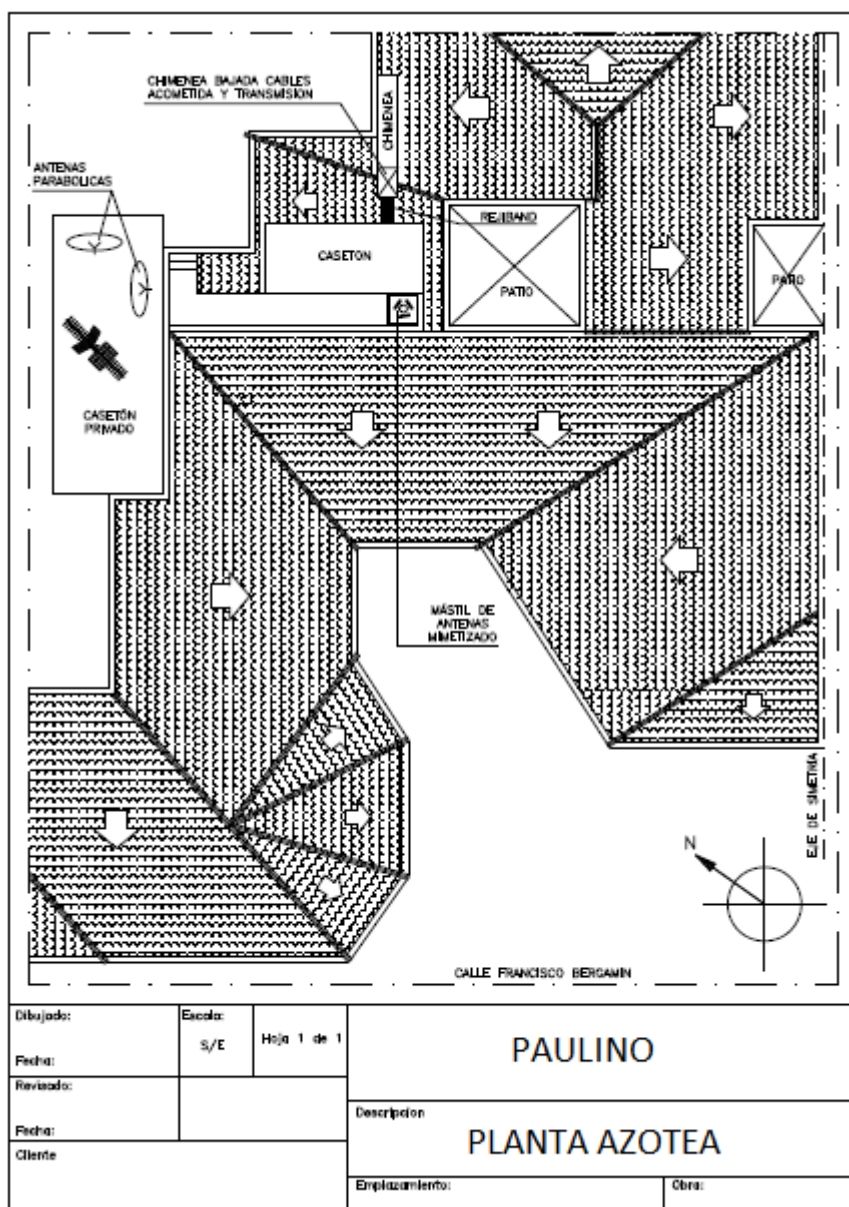


Figura 5.1 Plano azotea Paulino



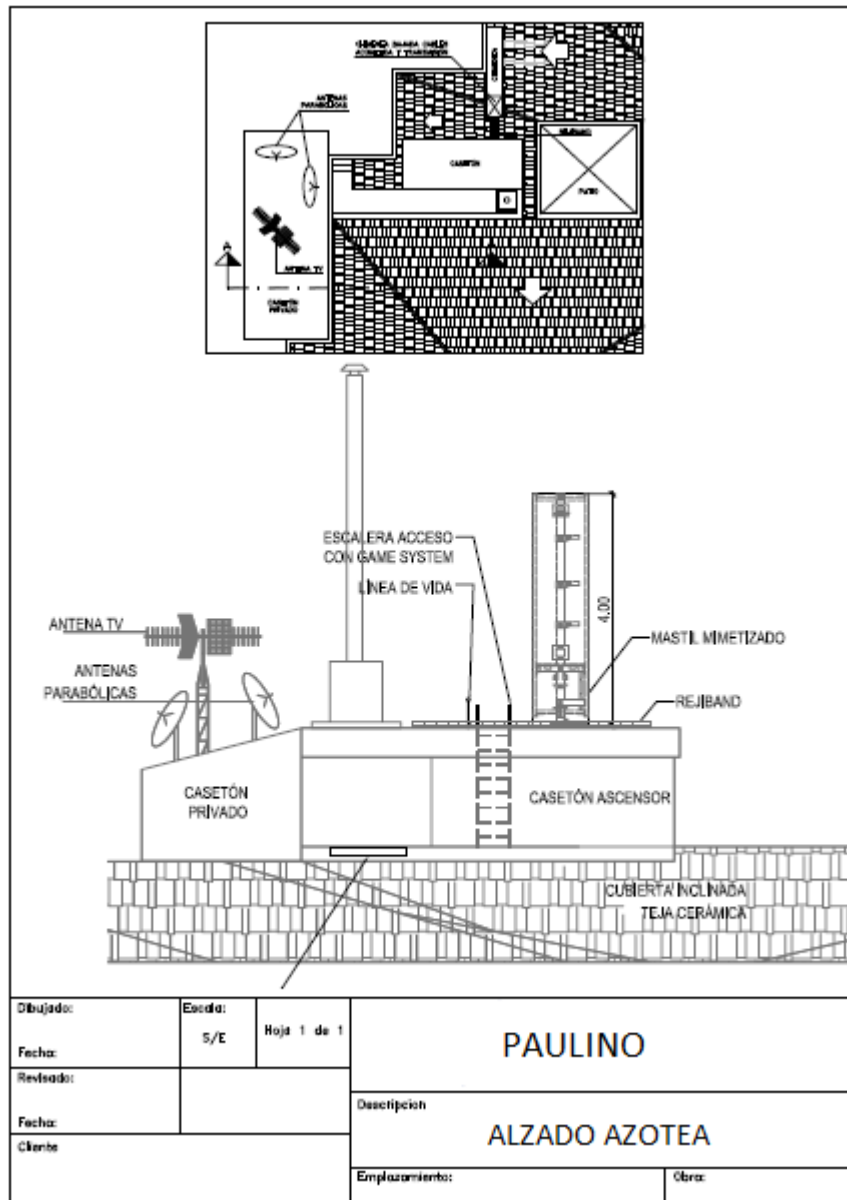


Figura 5.2 Plano alzado azotea Paulino

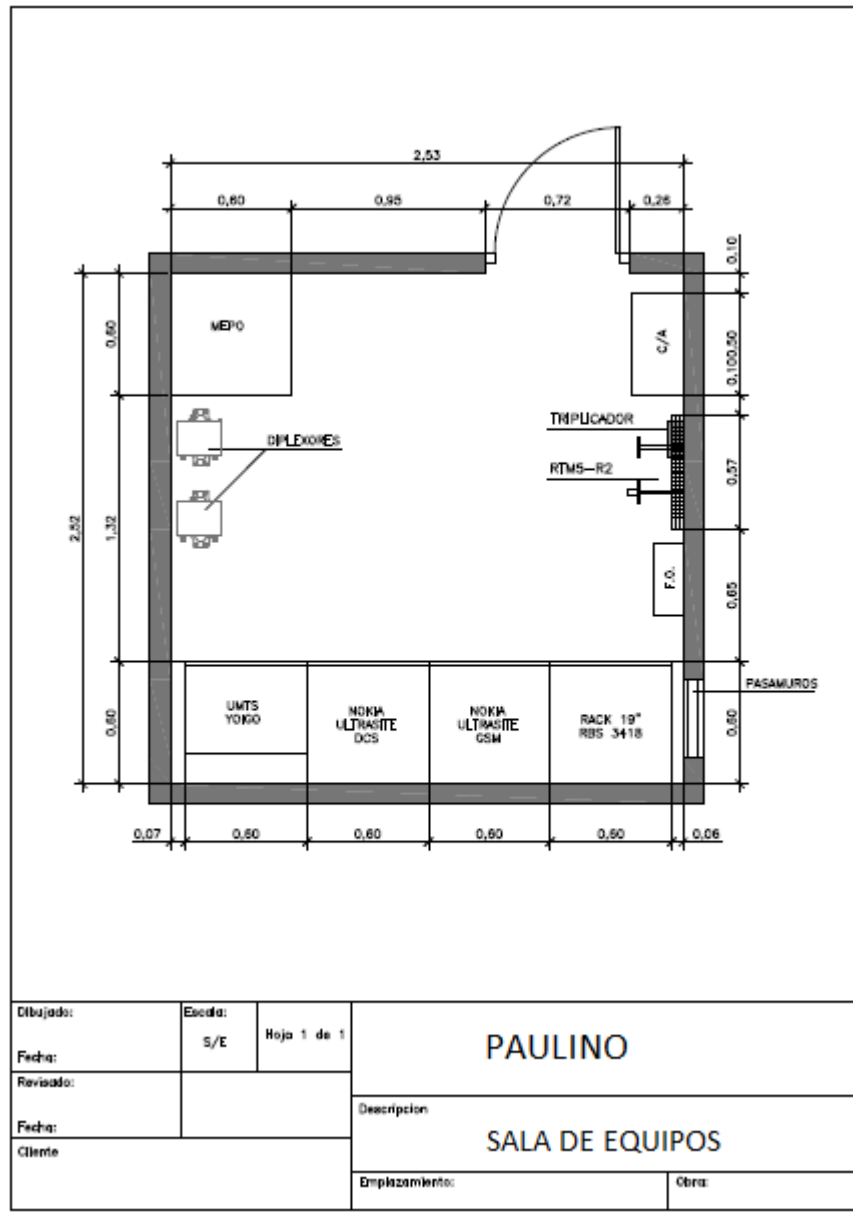


Figura 5.3 Plano sala de equipos Paulino

ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

El esquema de radiofrecuencia [Figura 5.4] de este emplazamiento sería el siguiente:

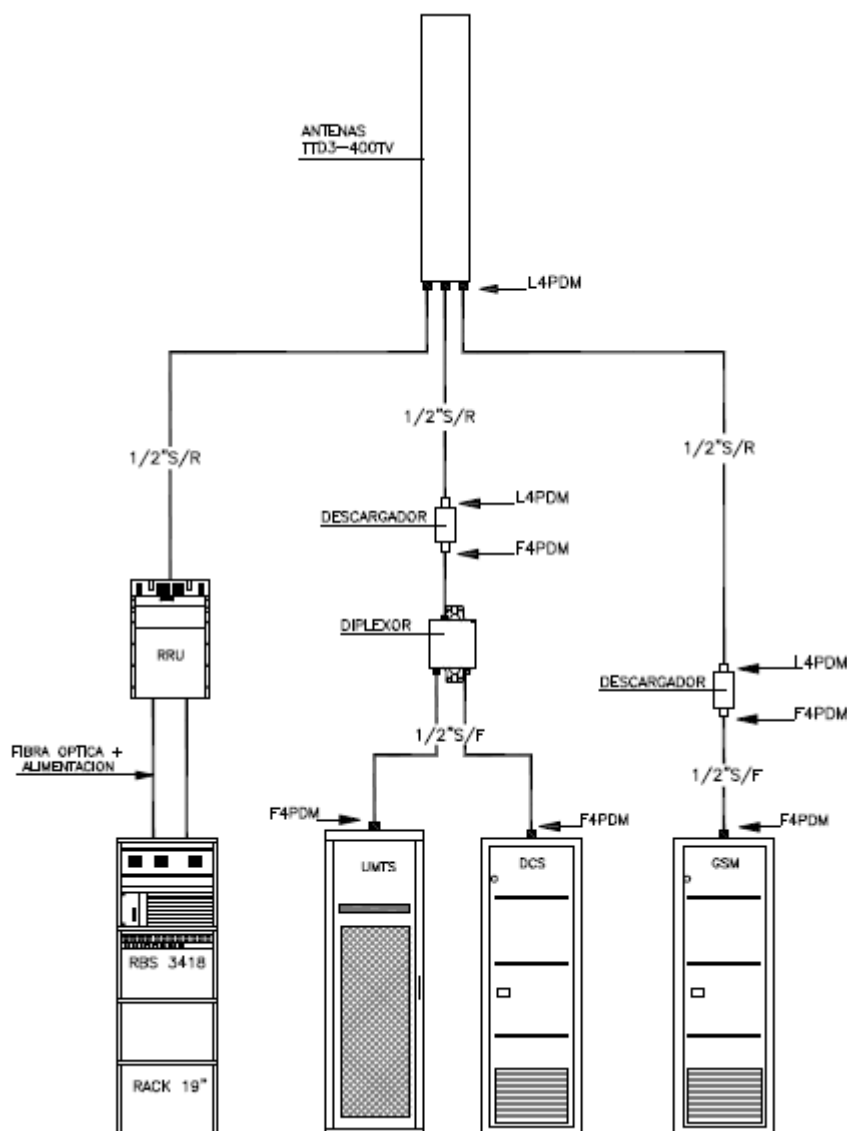


Figura 5.4 Esquema radiofrecuencia Paulino

Como se puede observar en el esquema nos encontramos con una antena que posee bocas independientes para cada sistema, Ryma TTD3-400TV. Así en la tirada de GSM solo nos encontraremos con las pérdidas proporcionadas por el cable, el descargador y los conectores. En la tirada de UMTS las pérdidas serán muy pequeñas debido al equipo utilizado, toda la tirada se realiza con fibra óptica y al lado de la antena colocaremos las RRUs, con lo que nos quedará un latiguillo de coaxial de media de unos tres metros. En esta estación se complica un poco el DCS, ya que nuestra operadora lo comparte con otra operadora, nos encontramos con cable de medios (unos tres metros), un diplexor, un descargador y sus respectivos conectores, por cada tirada.



De esta manera se pasa a calcular potencia recibida en la BTS y en el MS para cada sistema:

[Figura 5.5 y Figura 5.6]

En GSM:

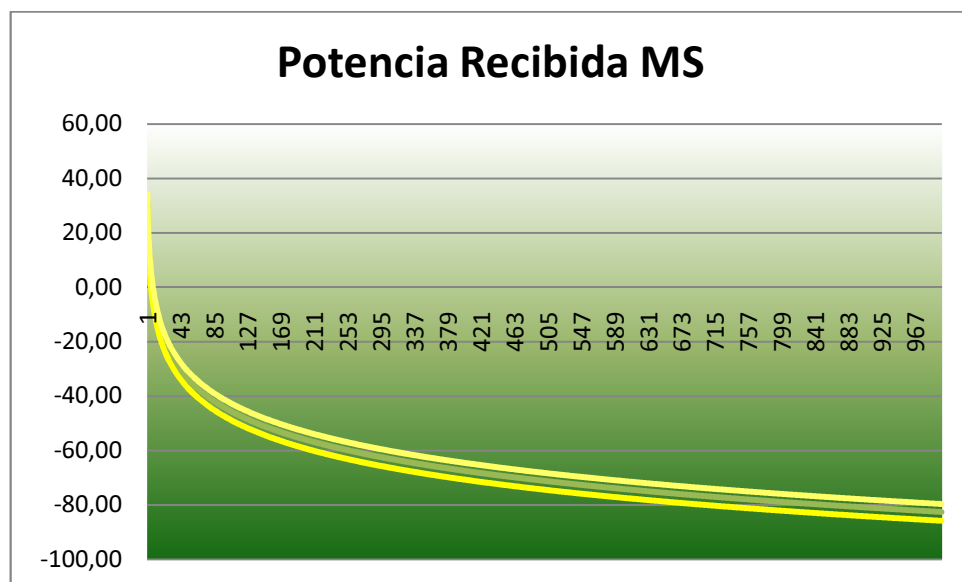


Figura 5.5 Potencia recibida MS para la radial de cero grados.

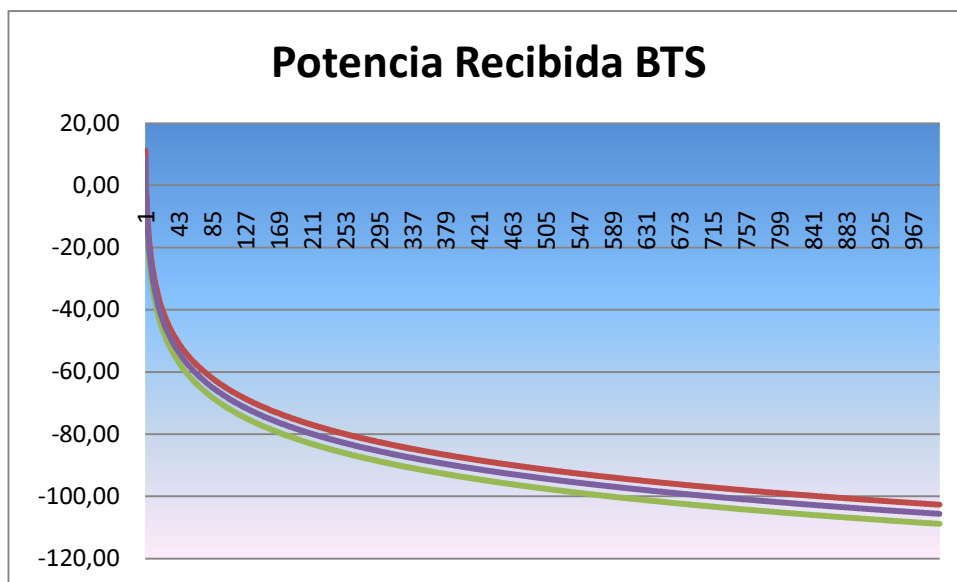


Figura 5.6 Potencia recibida BTS para la radial de cero grados.



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Ahora vamos a ver la grafica donde se compara la diferencia de potencias recibidas en BTS y MS para todas las radiales [Figura 5.7 y Figura 5.8], para el mismo lori:

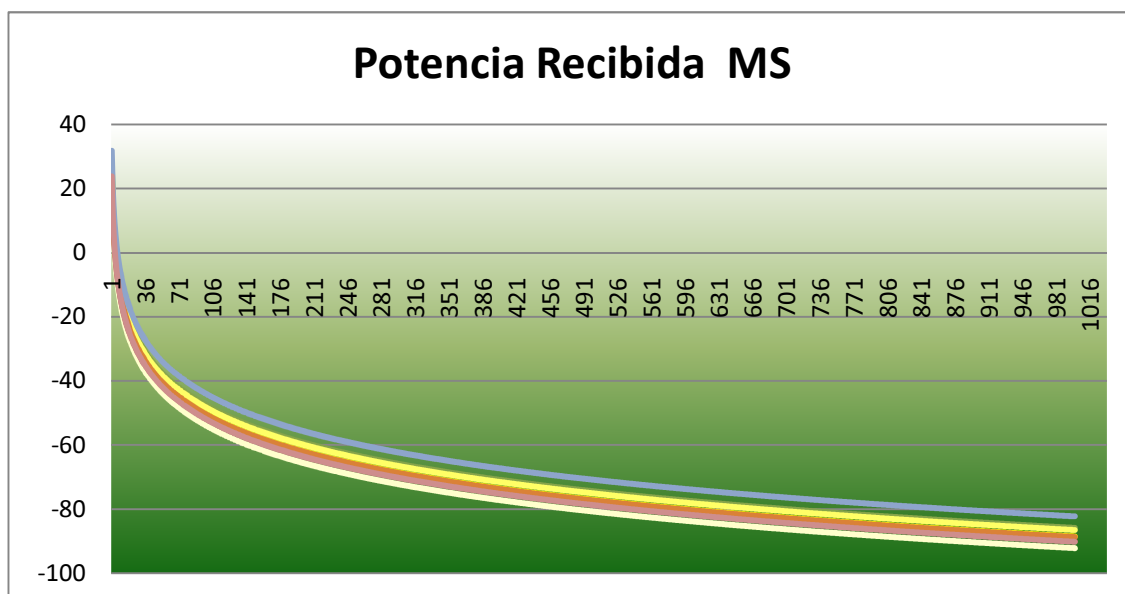


Figura 5.7 Potencia recibida MS para todas las radiales.

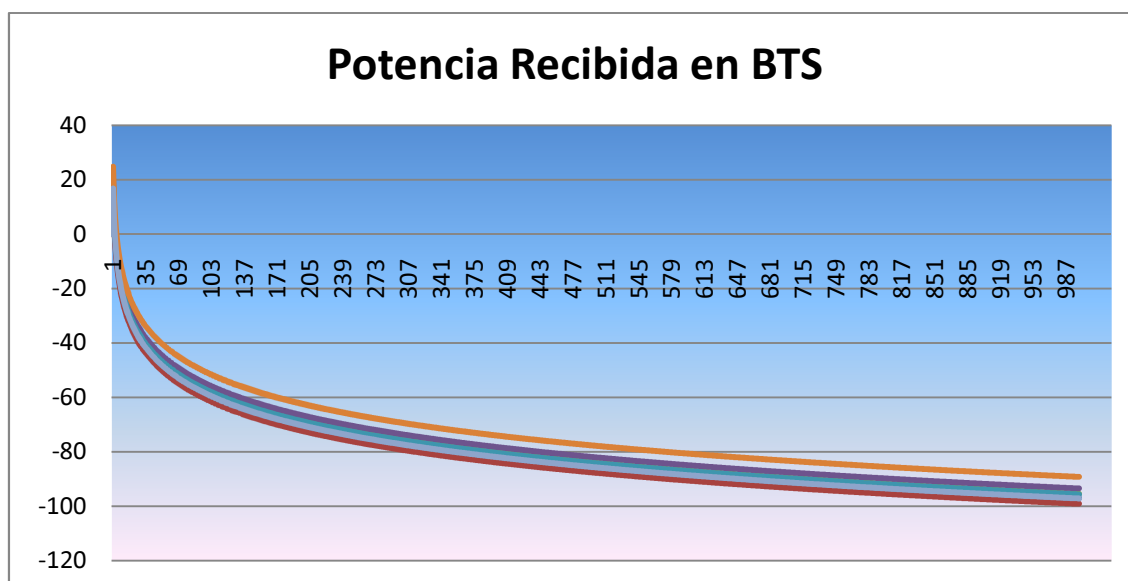


Figura 5.8 Potencia recibida BTS para todas las radiales.

La radial que menos pérdidas tiene [Figura 5.9] es la de 270° y el perfil obtenido de esta es:



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

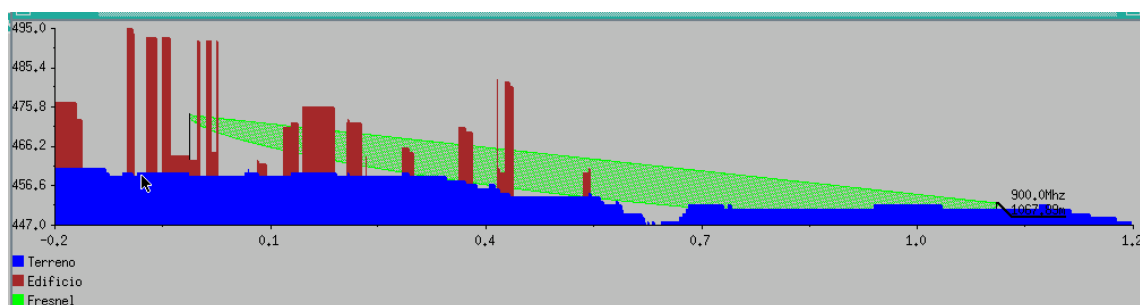


Figura 5.9 Perfil radial 270°

Por el contrario la radial que sufre más pérdidas [Figura 5.10] es la de 45° y el perfil obtenido:

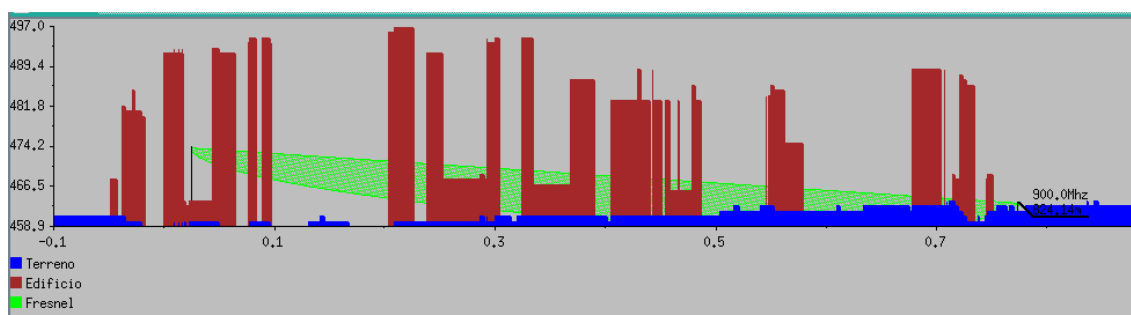


Figura 5. 10 Perfil radial 45°

Como se puede observar se trata de una diferencia importante en cuanto a la cantidad de edificios con los que se encuentra la señal. Aun con esta peculiaridad la cobertura es buena para todas las radiales, no se producirán cortes en las conversaciones, vemos como no pasan de 100dB las potencias recibidas, es decir no supera el nivel de sensibilidad.



Veamos que ocurre ahora para la señal de DCS:

[Figura 5.11 y Figura 5.12]

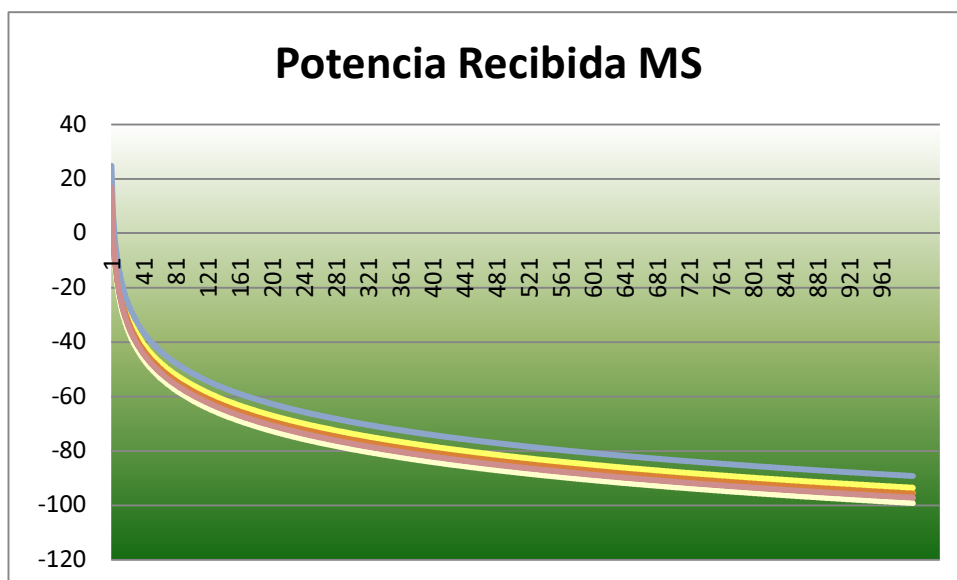


Figura 5.11 Potencia recibida MS para la señal DCS.

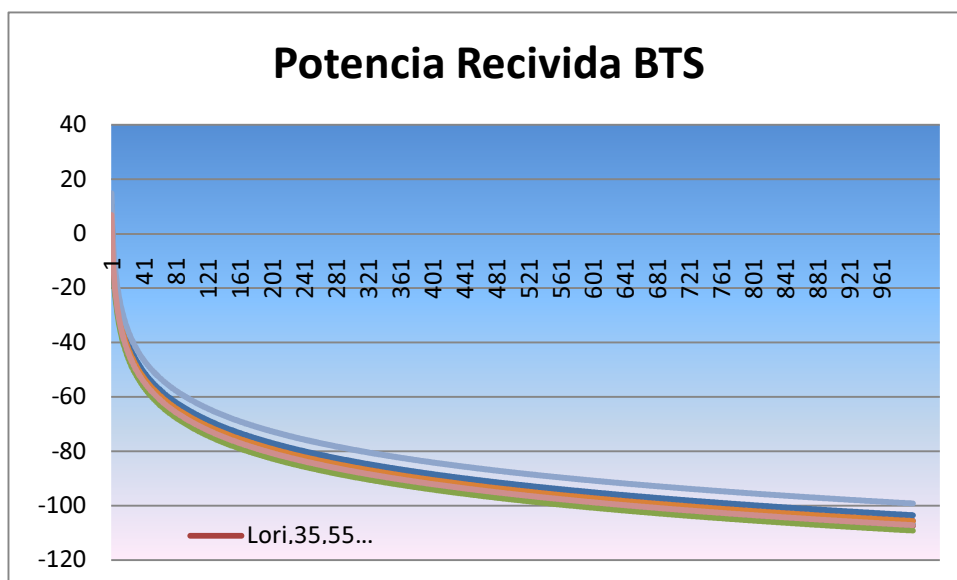


Figura 5.12 Potencia recibida BTS para la señal DCS.

Podemos observar que la potencia recibida es menor debido al aumento de frecuencia y también al diplexor que nos proporciona un aumento en las pérdidas de 3dB. La cobertura sobrepasara el nivel de sensibilidad a partir de los quinientos metros. Ha empeorado considerablemente con respecto al GSM.



Para el UMTS:

[Figura 5.13 y Figura 5.14]

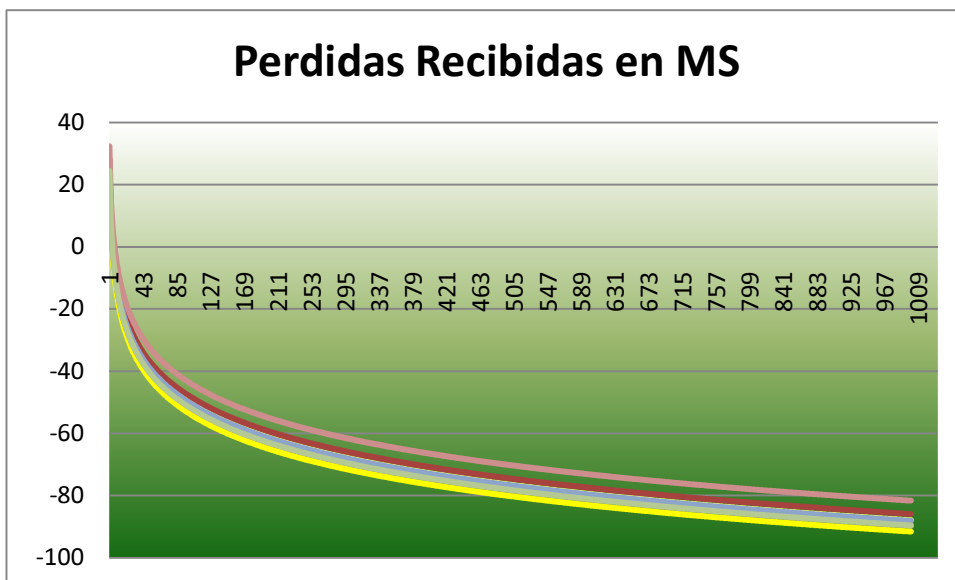


Figura 5.13 Potencia recibida MS para la señal UMTS.

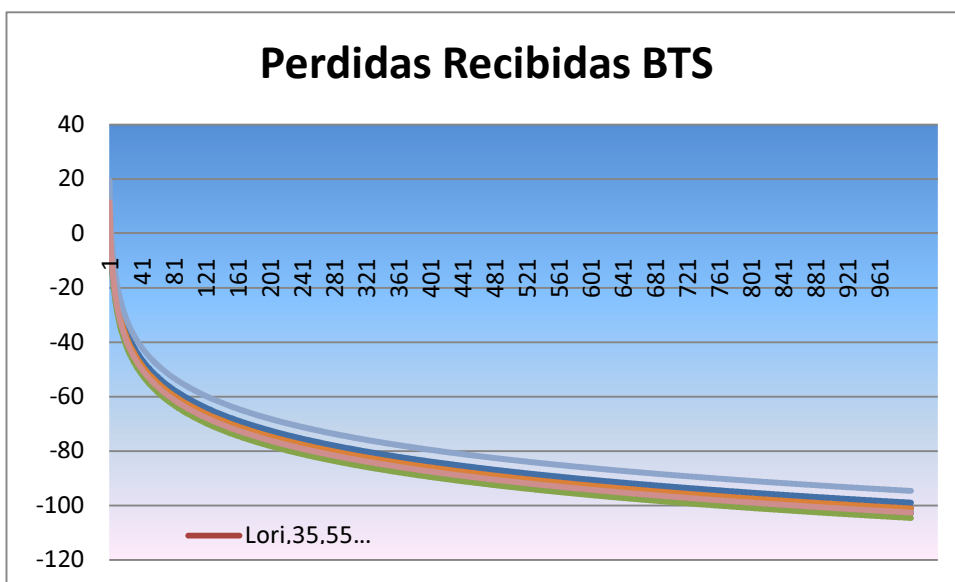


Figura 5.14 Potencia recibida BTS para la señal UMTS.

Se puede observar como a medida que aumenta la frecuencia las pérdidas son mayores, a pesar de utilizar fibra óptica y solo tres metros de coaxial. Radio de cobertura cubre hasta 750 metros.



5.2 CORTES.

Aquí se tiene una estación base [Figura 5.15] situada en c/ Amaya, los planos de esta estación:

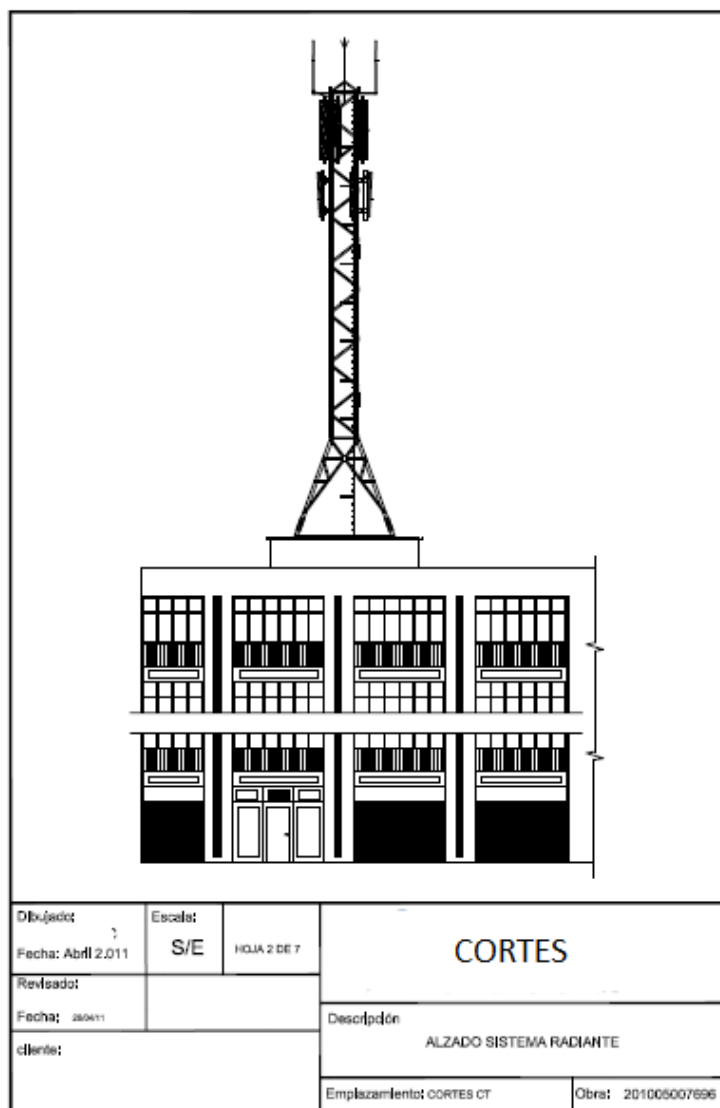


Figura 5.15 Plano alzado sistema radiante Cortes.

Se trata de una torre dentro de un patio en un edificio de cinco plantas. Esta estación tiene la peculiaridad de contar con los equipos de UMTS y DCS en la sala de equipos [Figura 4.82] de la planta cuarta, y el equipo de GSM se encuentra en la planta baja. De esta manera la tirada de cable que necesitaremos para el GSM será de unos cincuenta metros aproximadamente, siendo de 25 metros la tirada necesaria para las otras tecnologías. En esta EB, como el edificio no es muy alto se ha colocado una torre en el patio interior. La torre tiene treinta y cinco metros.



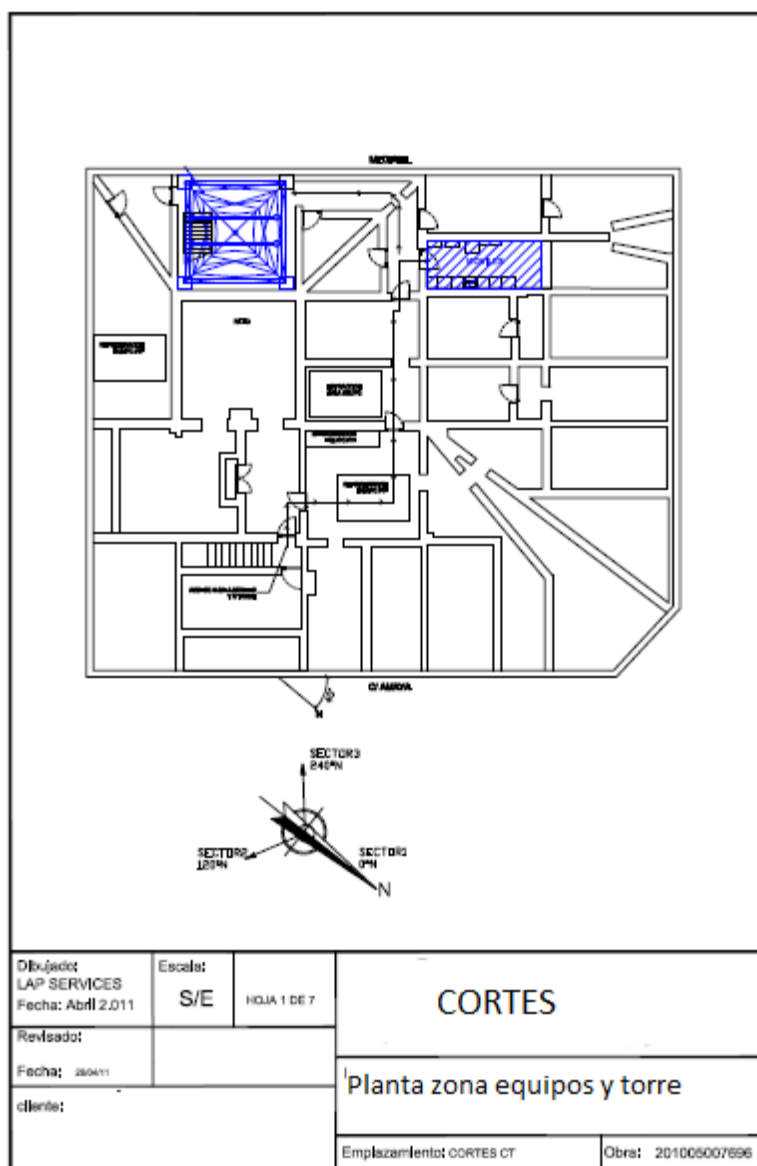


Figura 5.16 Plano planta zona de equipos y torre Cortes.

En este plano se puede ver en la planta cuarta la sala de equipos [Figura 5.16] y la base de la torre, colocados a la misma altura. En esta estación se encuentran otros operadores, los cuales comparten antenas con el nuestro, con lo que las uniones de señal mediante diplexores serán usuales. Como se puede observar en el esquema de radiofrecuencia [Figura 5.18] nuestro operador es el que menos sufre en estas uniones y esto es debido a que es el propietario de la Estación.



Ahora plano detalle de la sala de equipos [Figura 5.17]:

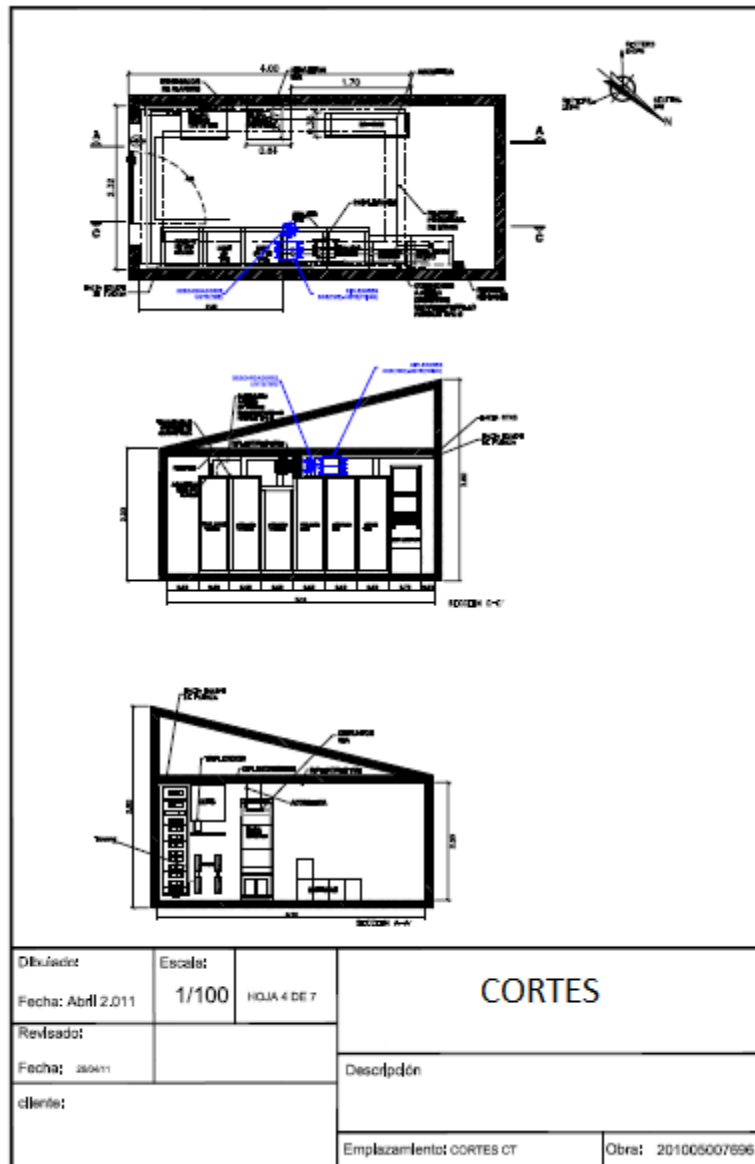


Figura 5.17 Plano planta zona de equipos y torre Cortes.



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

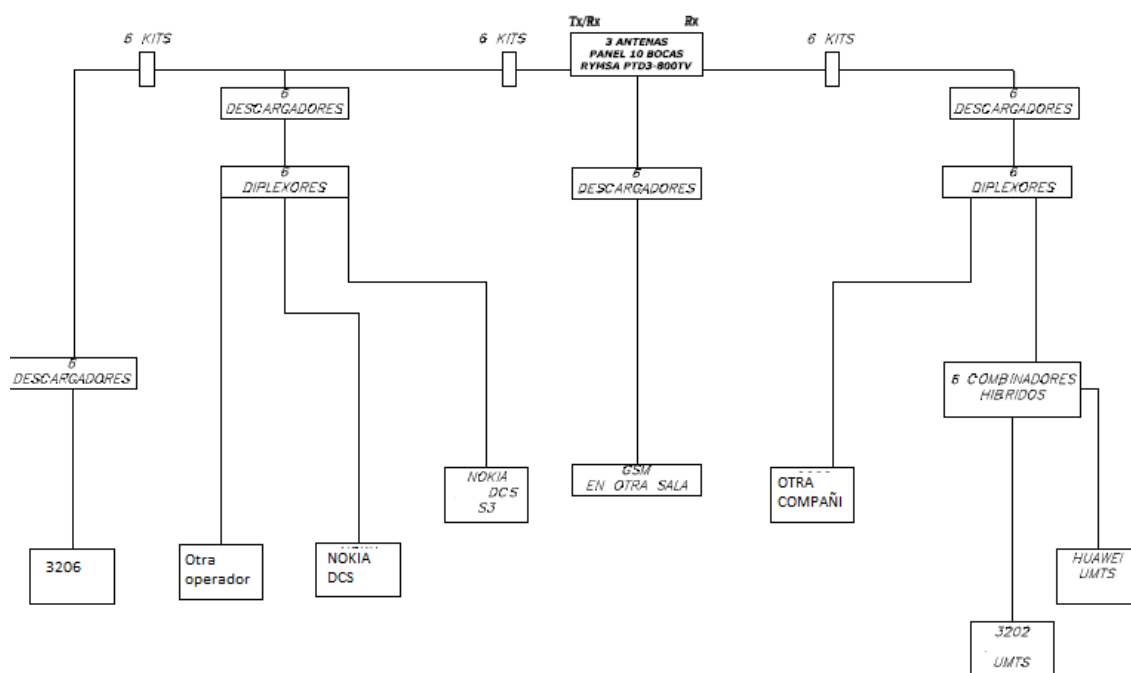


Figura 5.18 Diagrama radiación Cortes

Las pérdidas en el recorrido de la señal [Tabla 5.1] hasta las antenas son las siguientes:

	Pérdidas conectores (dB)		Pérdidas cable (dB)			Pérdidas elementos auxiliares (dB)	TOTAL (dB)
	CONECTORES	DESCARGADORES	1/2	7/8	1/2		
UMTS	1.2	0.1	0.3	1.65	0.3	0	3.55
DCS	1.6	0.1	0.27	1.55	0.27	3+3+3	12.79
GSM	1	0.1	0.21	1.83	0.21	3+3	9.35

Tabla 5.1 Tabla de pérdidas Cortes.



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Con lo que se obtiene unas características propias de la estación para cada tecnología [Tabla 5.2]:

	GSM	DCS	UMTS
Potencia BTS	46,02	46,02	33,01
Potencia MS	30,00	30	30,00
G antena BTS	16,6	17,1	17.1
G antena MS	1	1	1
L cable BTS	9,35	12,79	3,55

Tabla 5.2 Tabla de características propias de la estación.

Teniendo todos estos datos ya se puede obtener los resultados para las potencias recibidas [Figura 4.85 y Figura 4.86] tanto en la BTS como en el MS, en GSM:

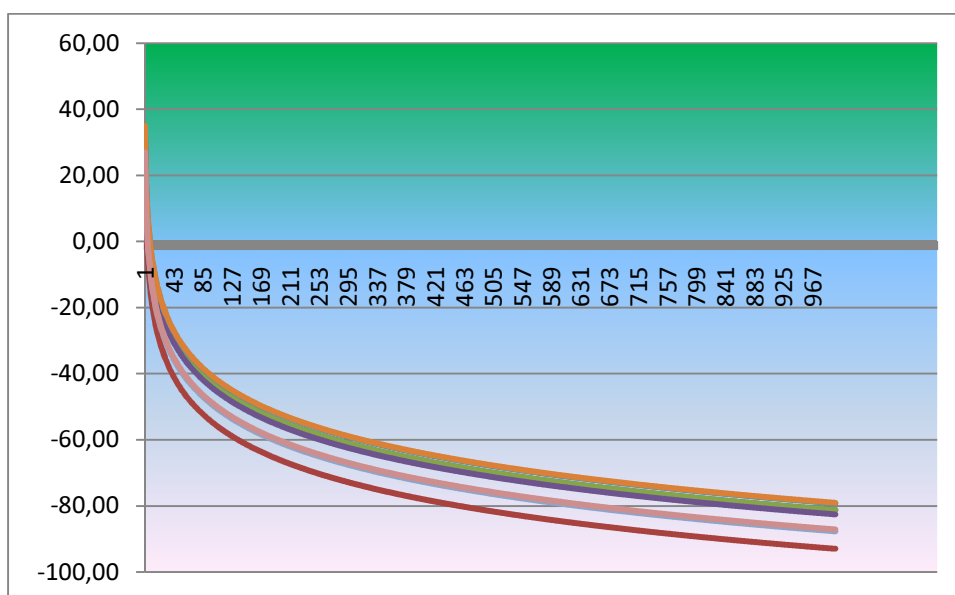


Figura 5.19 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35.



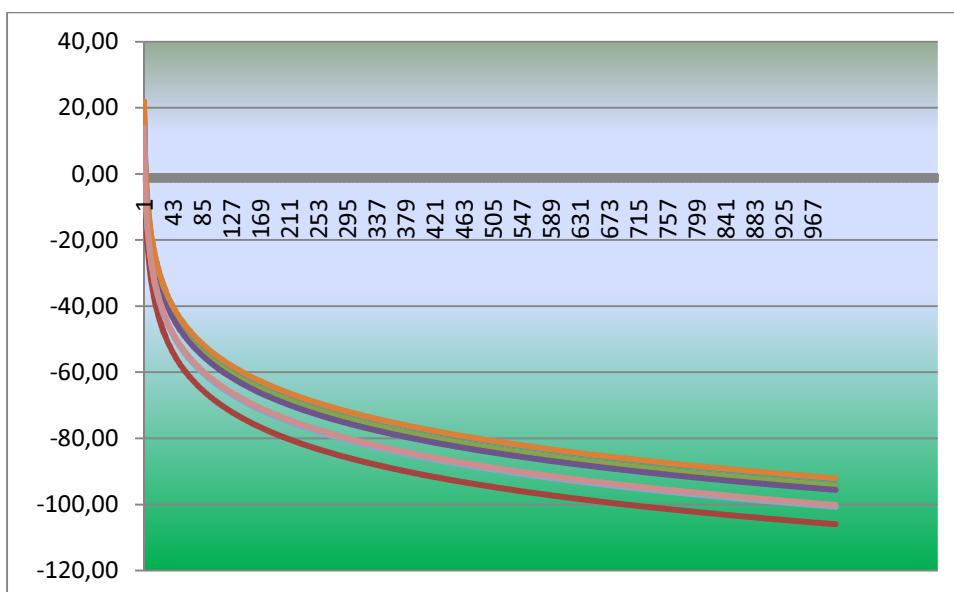


Figura 5.20 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35

En principio en el único sitio donde se encontrarían problemas de cobertura sería para la radial de 45°. Vamos a ver qué diferencia hay entre los alzados de la radial de 45° [Figura 5.21] que tiene la peor cobertura, la de 315° [Figura 5.22] y la que tiene mejor cobertura 225° [Figura 5.23] .

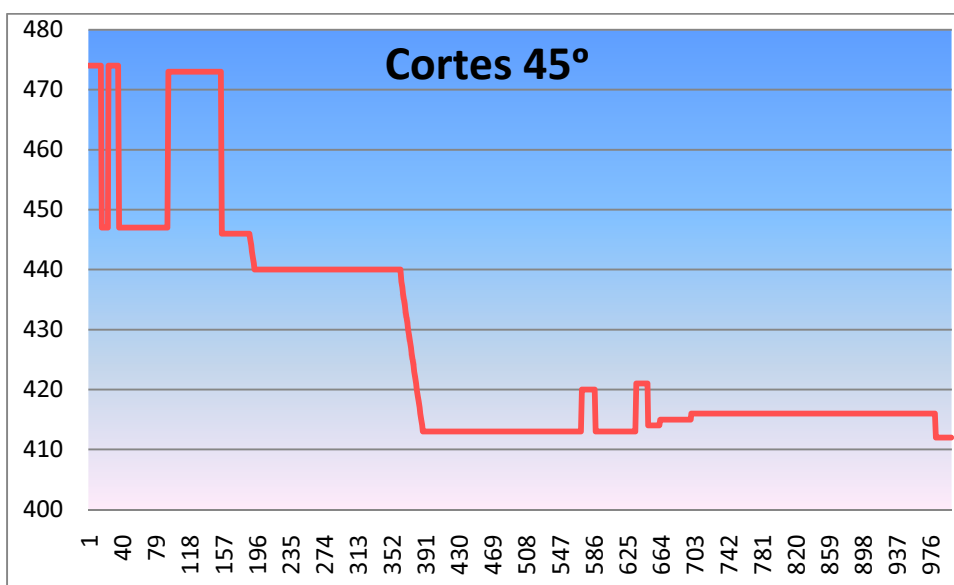


Figura 5.21 Alzado de la radial de 45°



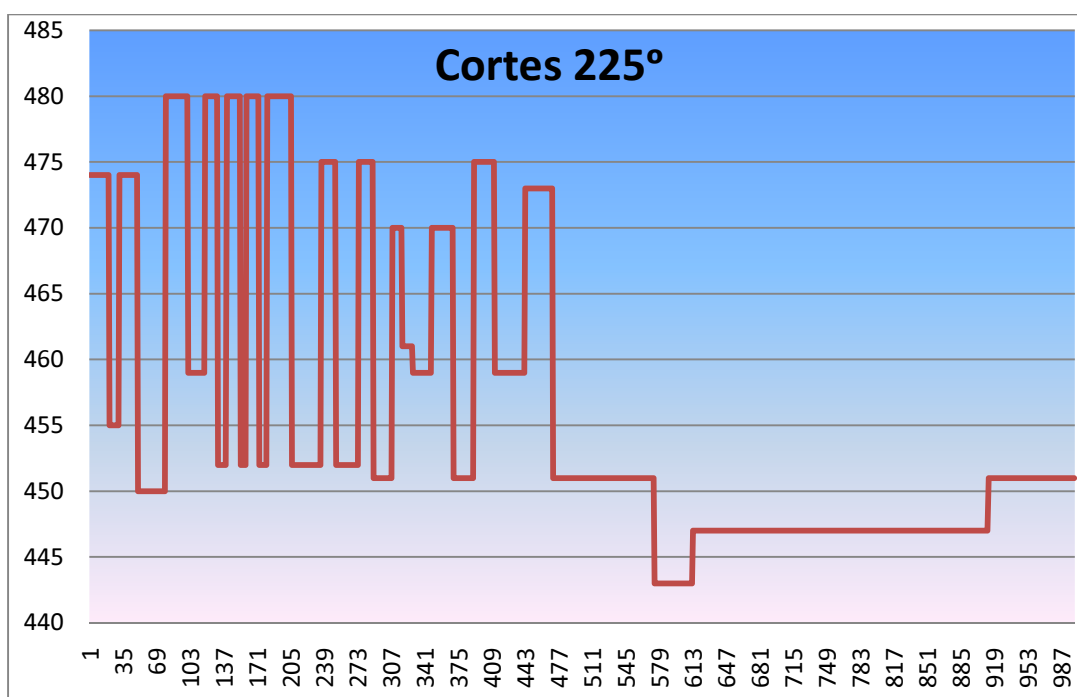


Figura 5.22 Alzado de la radial de 225°

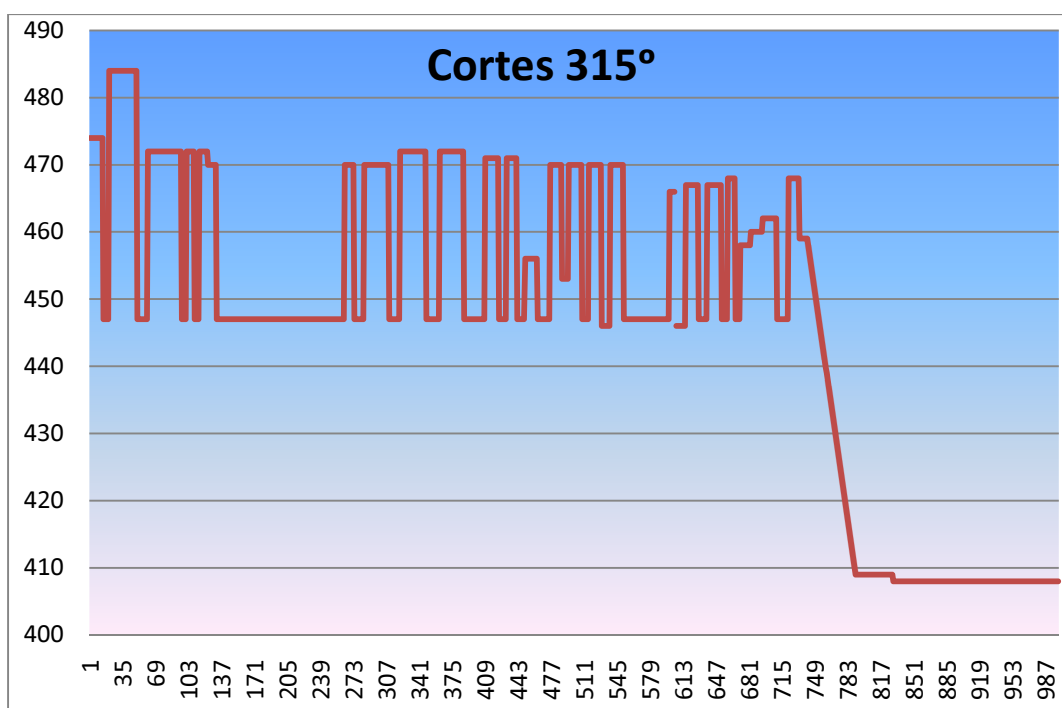


Figura 5.23 Alzado de la radial de 315°

La conclusión que sacamos es que nuestro estudio tiene un defecto en las zonas donde la diferencia de niveles es grande. Como en esta zona de Pamplona.



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Se continúa el estudio para las demás oris en GSM [Figura 5.24, Figura 5.25, Figura 5.26, Figura 5.27]

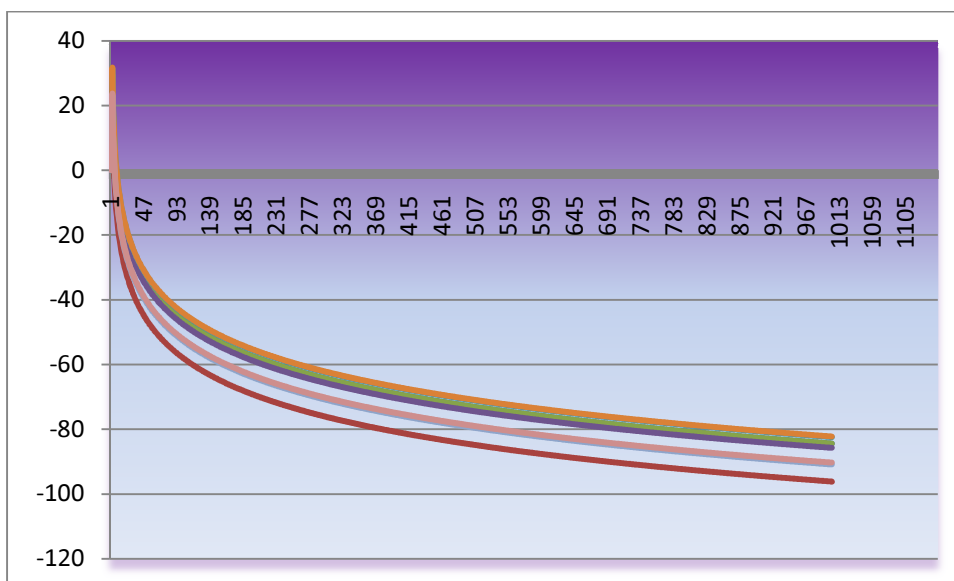


Figura 5.24 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

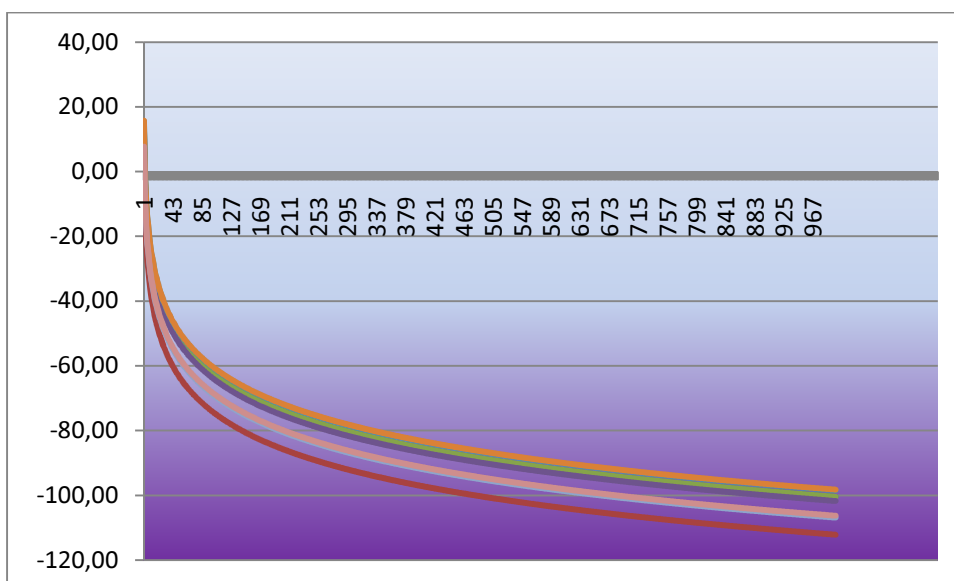


Figura 5.25 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55

Vemos como en este caso nos va a marcar el MS las limitaciones de cobertura, se comienza a tener problemas a partir de cuatrocientos sesenta y tres metros, siempre son distancias aproximadas. Ya que factores meteorológicos pueden hacer variar estas distancias.



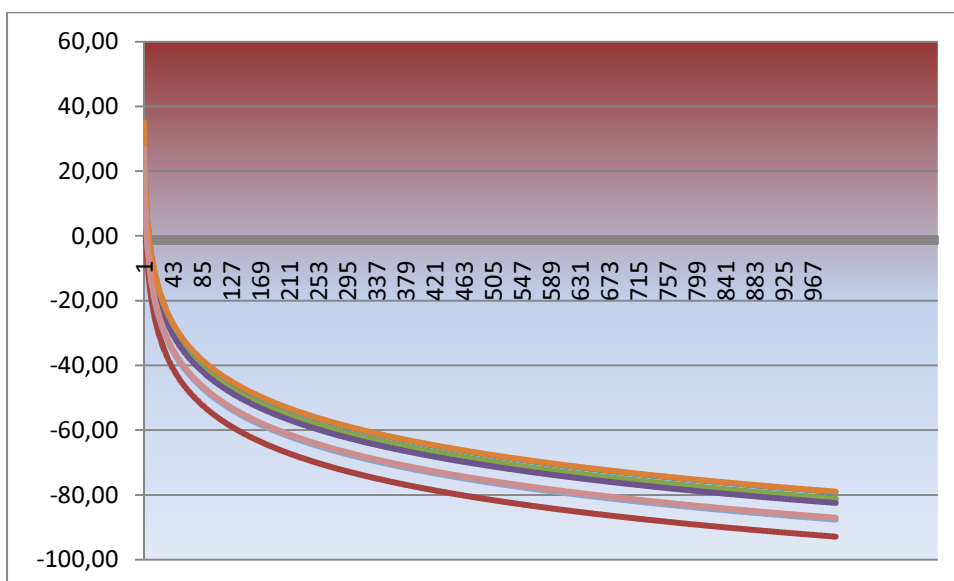


Figura 5.26 Potencia recibida en el MS para Lori>55

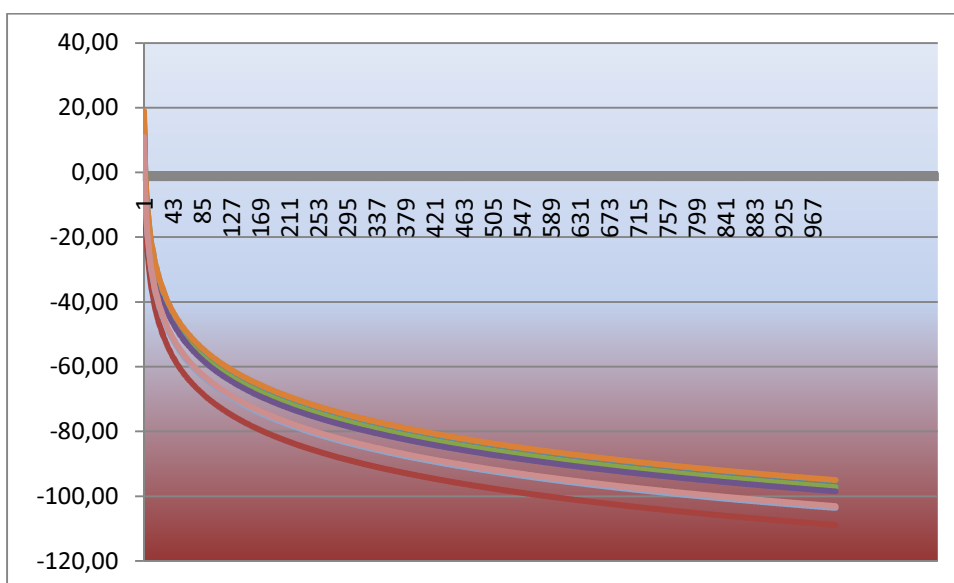


Figura 5.27 Potencia recibida en el BTS para Lori>55

Como se puede observar los niveles son bastante malos, nuestras redes permiten una sensibilidad menor de 100 dB y solo se tiene unos 500 m de cobertura en el peor de los casos.

ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Ahora miramos las radiales para la tecnología de DCS y para todos los ángulos [Figura 5.28, Figura 5.29, Figura 5.30, Figura 5.31, Figura 5.32, Figura 5.33]:

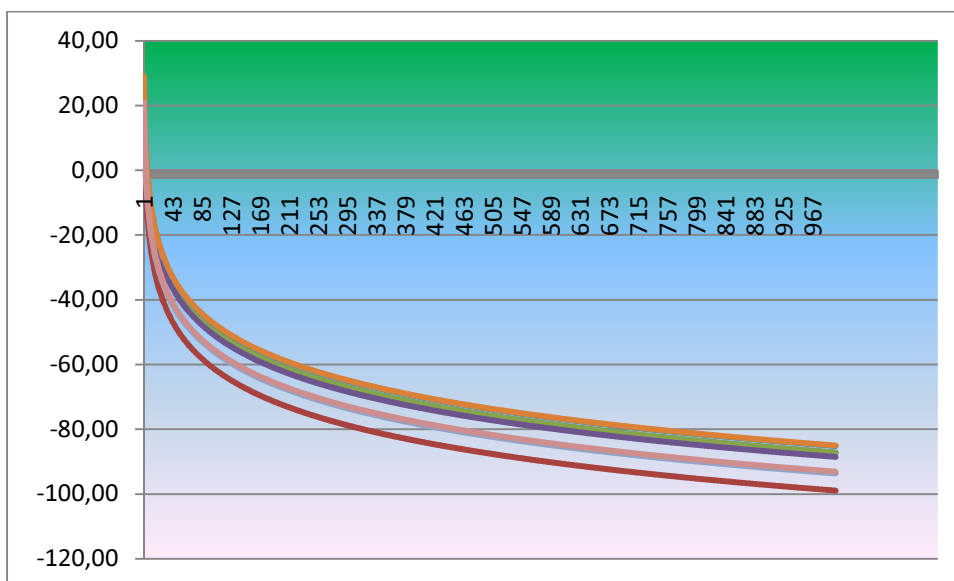


Figura 5.28 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35

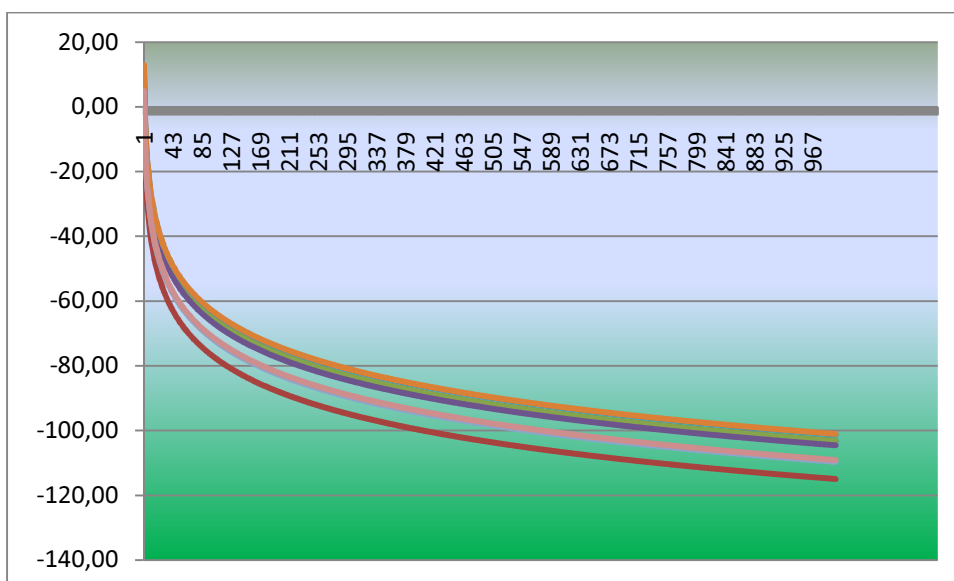


Figura 5.29 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35



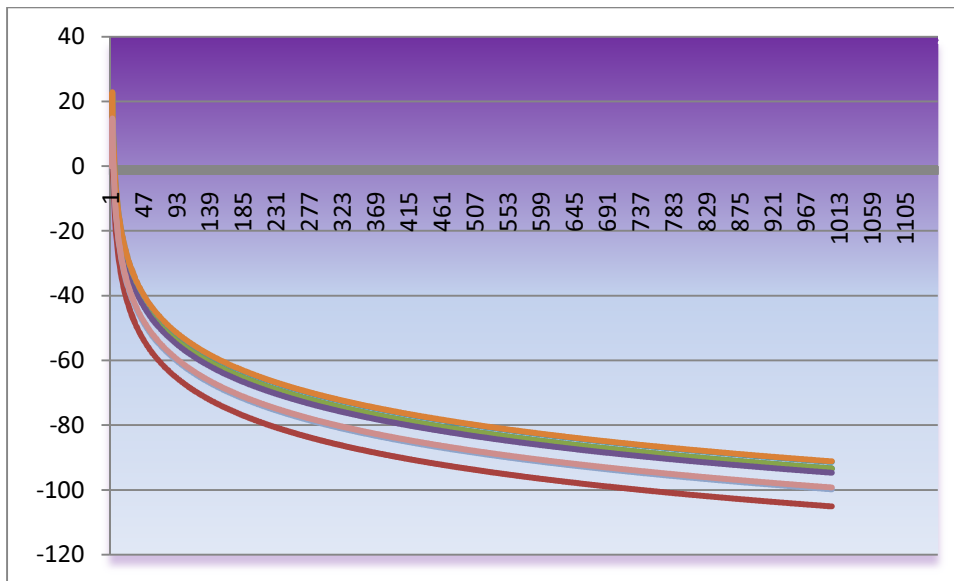


Figura 5.30 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

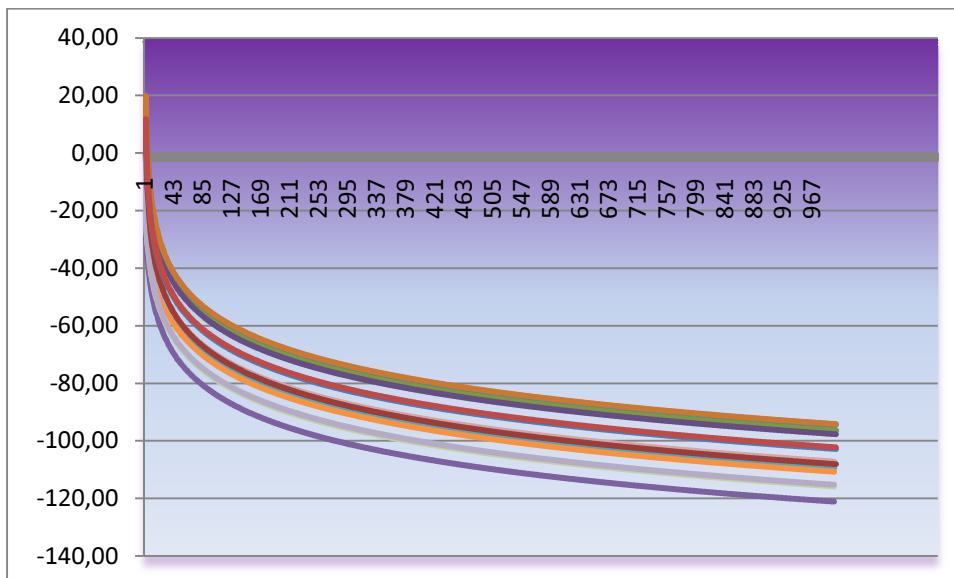


Figura 5.31 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55

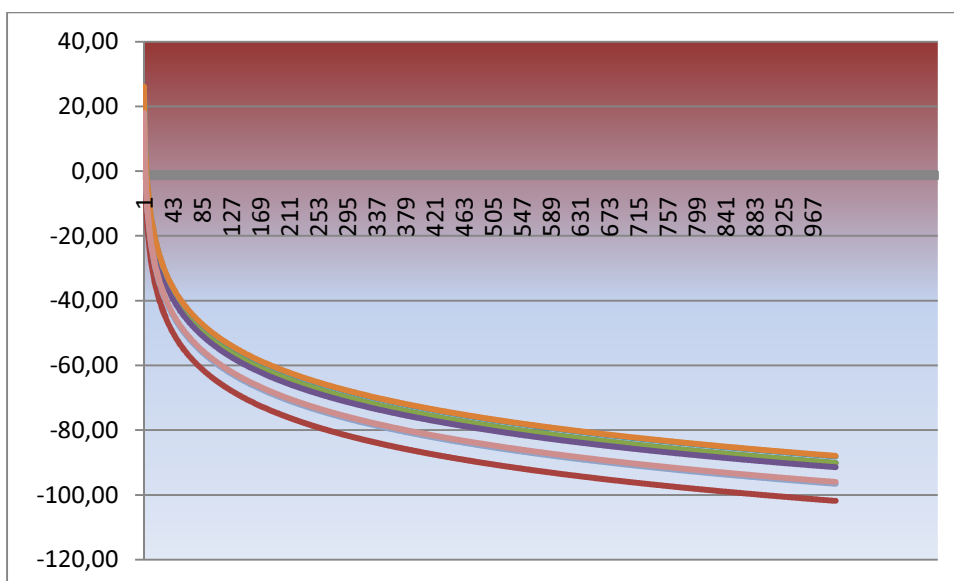


Figura 5.32 Potencia recibida en el MS para Lori>55

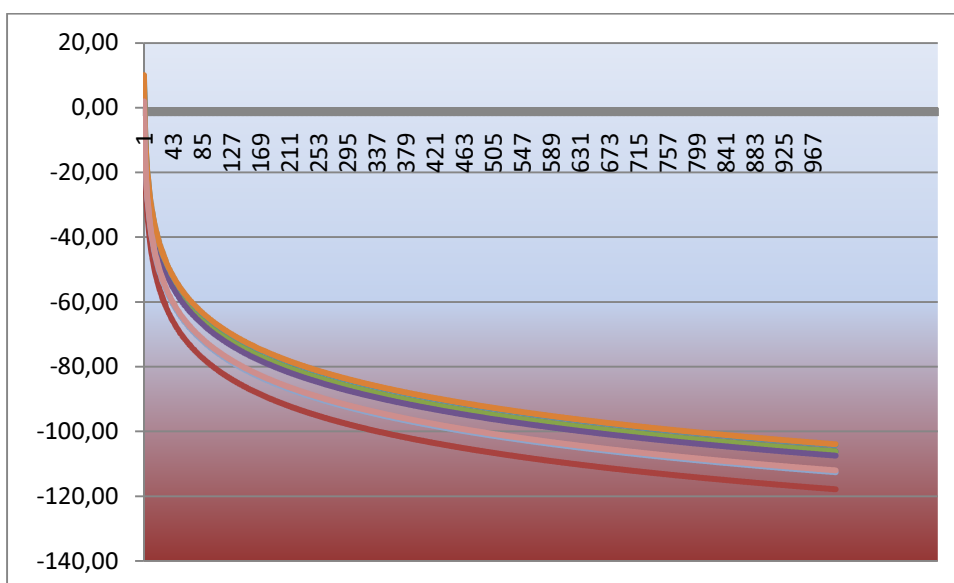


Figura 5.33 Potencia recibida en el BTS para Lori>55

Como era de esperar para el DCS es peor, ya que se tiene un equipo de las mismas características que para GSM, pero diplexado un par de veces.



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Se acaba el estudio observando que les ocurre a las radiales de UMTS[Figura 5.34, Figura 5.35, Figura 5.36, Figura 5.37, Figura 5.38, Figura 5.39]

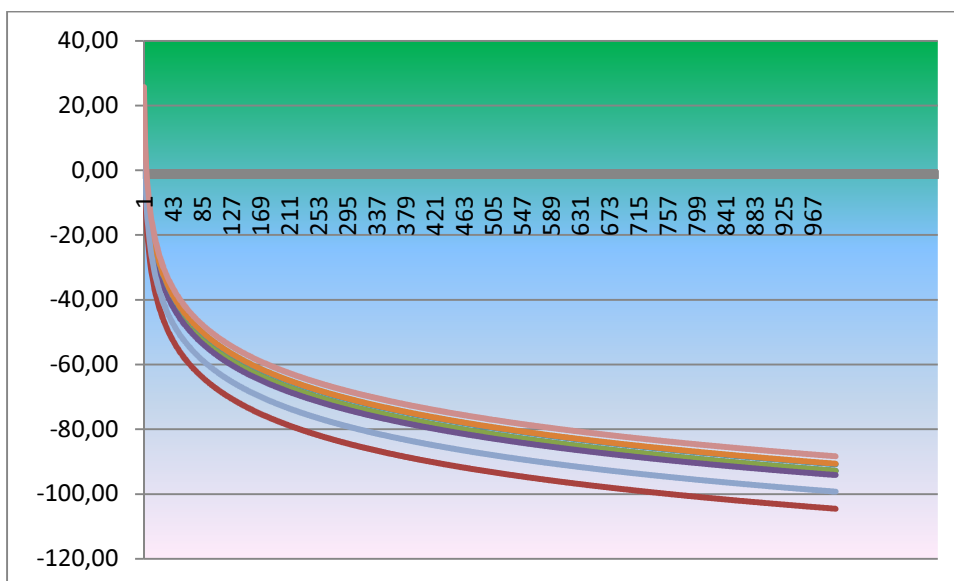


Figura 5.34 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35

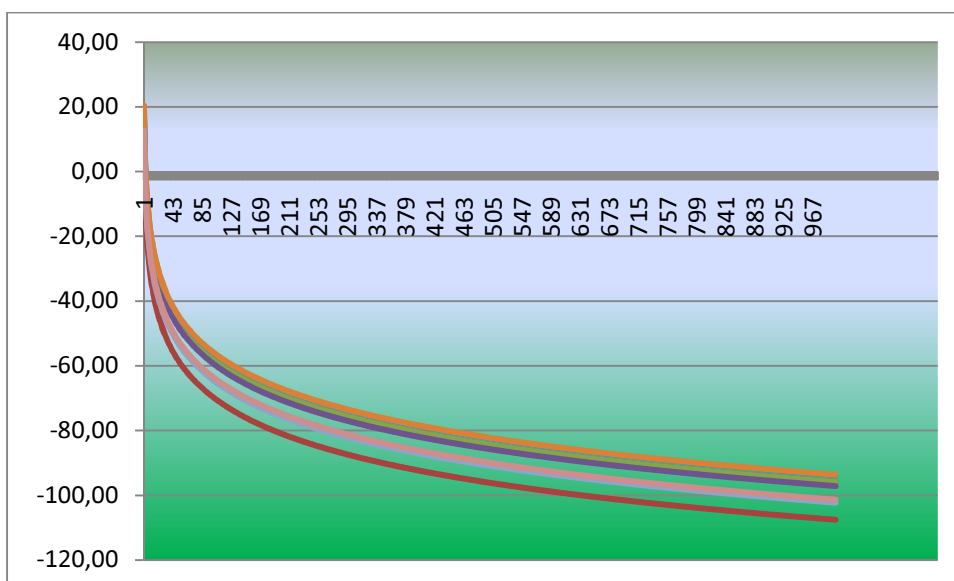


Figura 5.35 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35



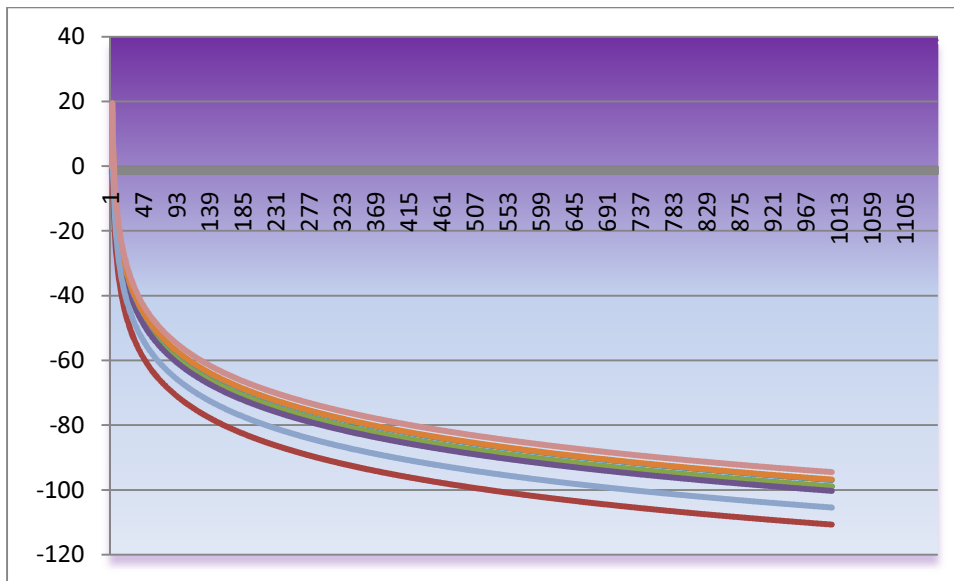


Figura 5.36 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

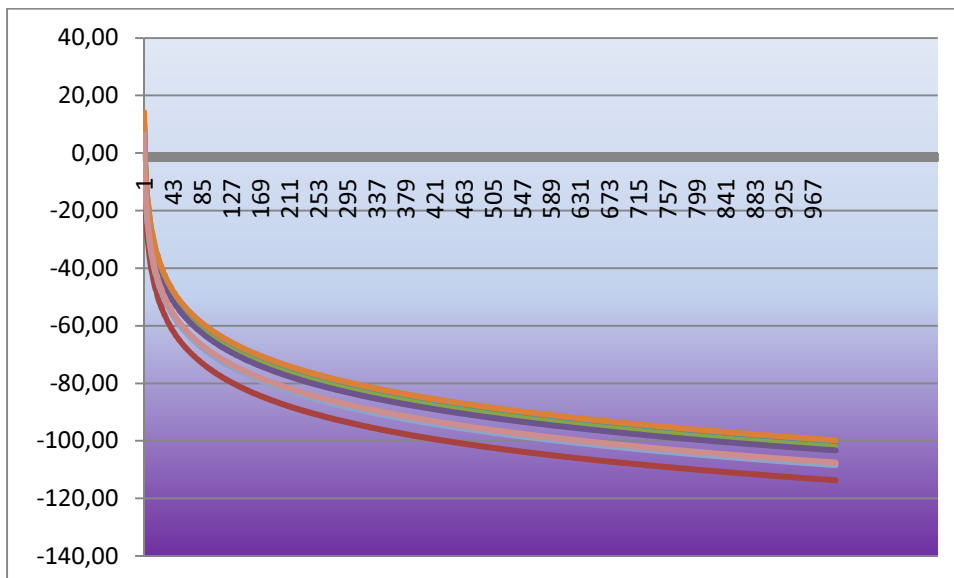


Figura 5.37 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55

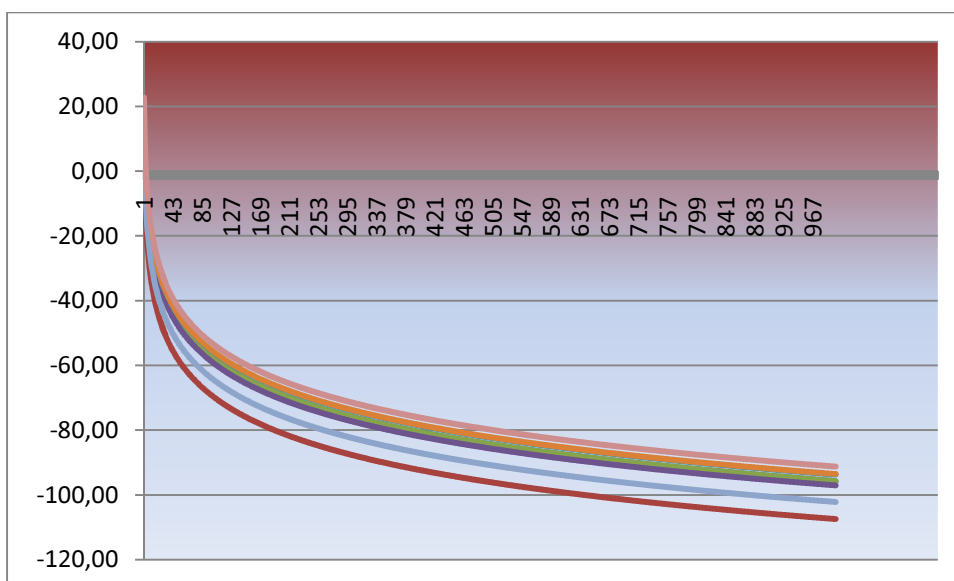


Figura 5.38 Potencia recibida en el MS para Lori>55

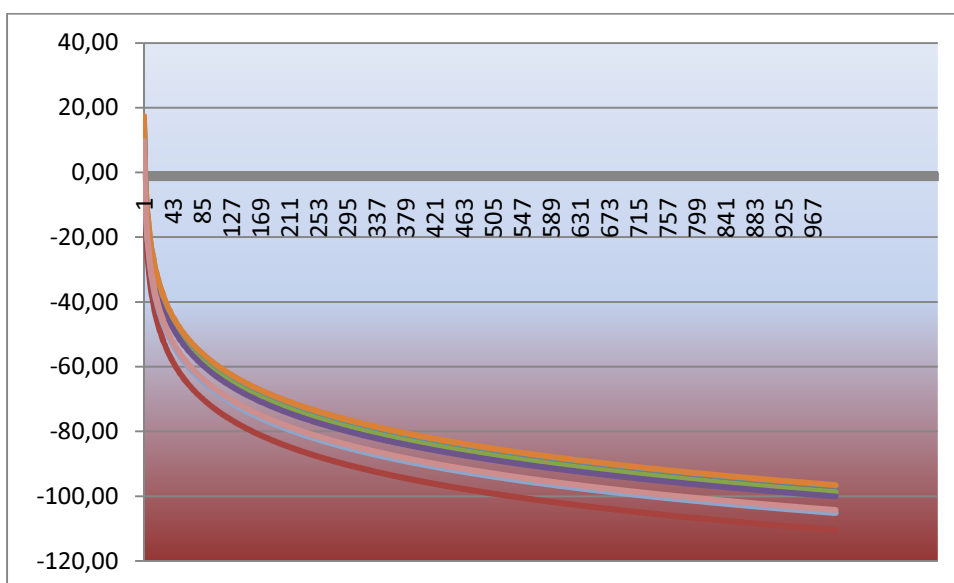


Figura 5.39 Potencia recibida en el BTS para Lori>55

Esta estación tiene unos niveles bastante malos a partir de los quinientos metros, pero es lo normal cuando las señales se diplexan una vez y otra vez, hay muchos operadores radiando desde una única antena. Se entiende que a partir de 100dB la comunicación es muy mala y a partir de 102 dB nuestra operadora corta las llamadas.



5.3 CASINO

Se trata de una estación base situada en LA Plaza del Castillo, se dispone de una terraza [Figura 5.40 y Figura 5.41] en la séptima planta de un edificio, por temas de menor impacto visual, las antenas que se utilizan son de estilo micro, de tamaño pequeño. Solo se dispone con un equipo Umts, colocado en la misma terraza, de esta manera la pérdida por los cables es mínima. En esta estación se comparte antenas con otro operador. No se disponen planos del alzado del edificio por expresa petición de los propietarios.

Se decide colocar un equipo 3518 con cabezas remotas, aunque el recorrido de cable no vaya a ser largo. Posiblemente esto haya ocurrido así, no por pensar en mejor resultados, sino por obligación de comprar estos equipos a alguien en concreto.

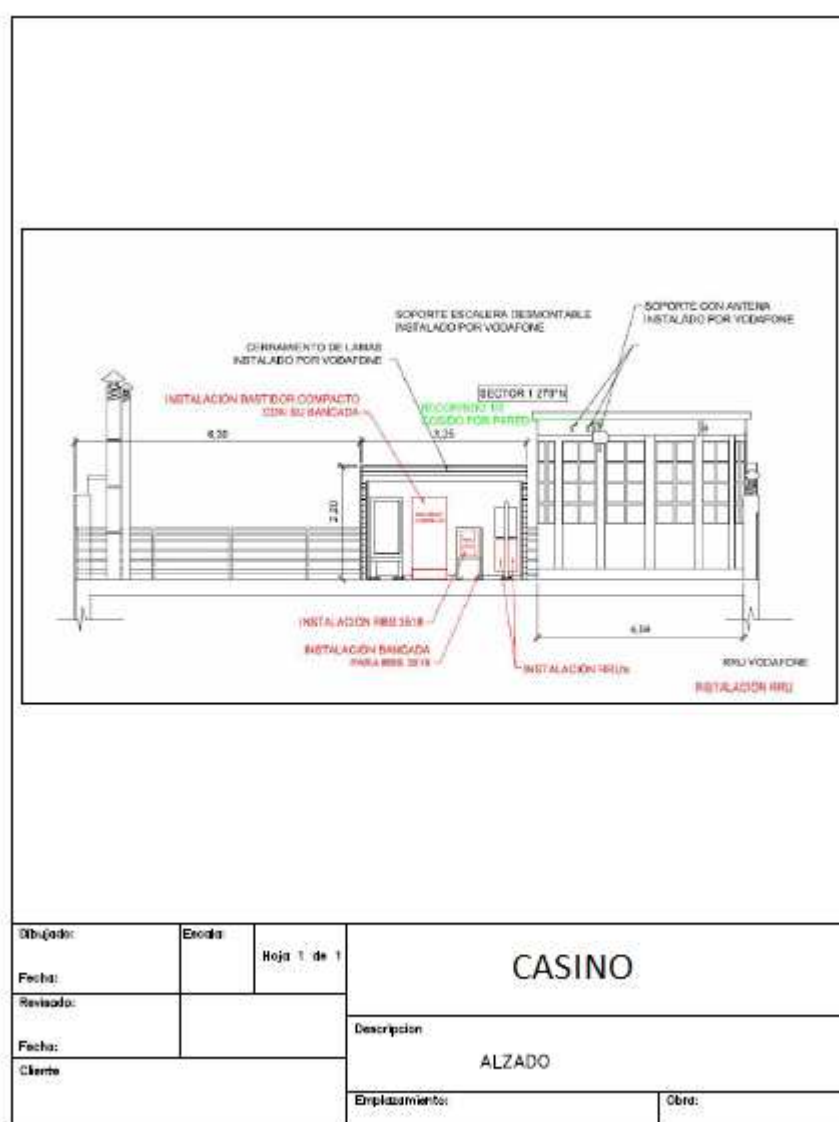


Figura 5.40 Plano alzado Casino



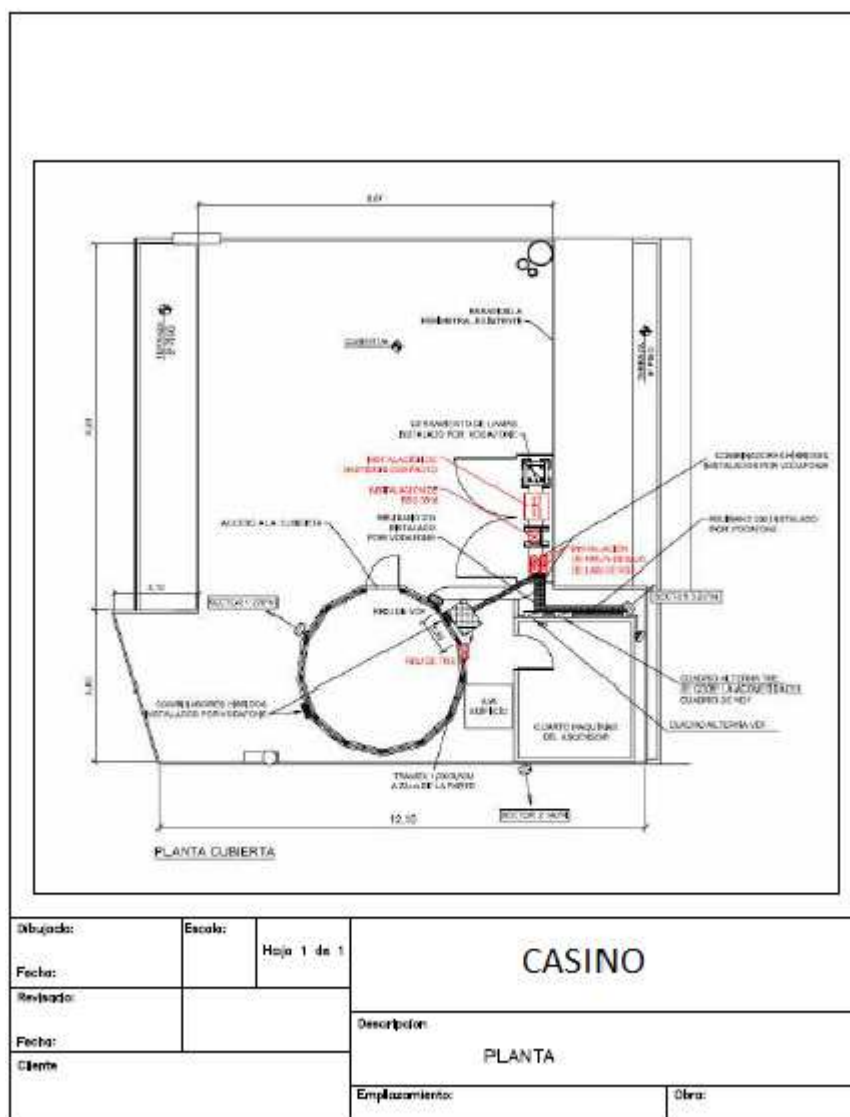


Figura 5.41 Plano planta Casino

Aquí se puede observar que se ha puesto un equipo 3518 con fibras ópticas [Figura 4.106], aún cuando la distancia entre el equipo y las antenas no supera la veintena de metros. Y se puede ver también como las rrus se colocan al lado del equipo con lo que obliga a poner cable coaxial hasta las antenas. Se entiende que esto se realiza así por exigencias de la propiedad. Como estamos se está compartiendo antenas con otro operador, se tendrá que diplexar la señal, lo que supondrá un aumento de tres dB en las pérdidas.

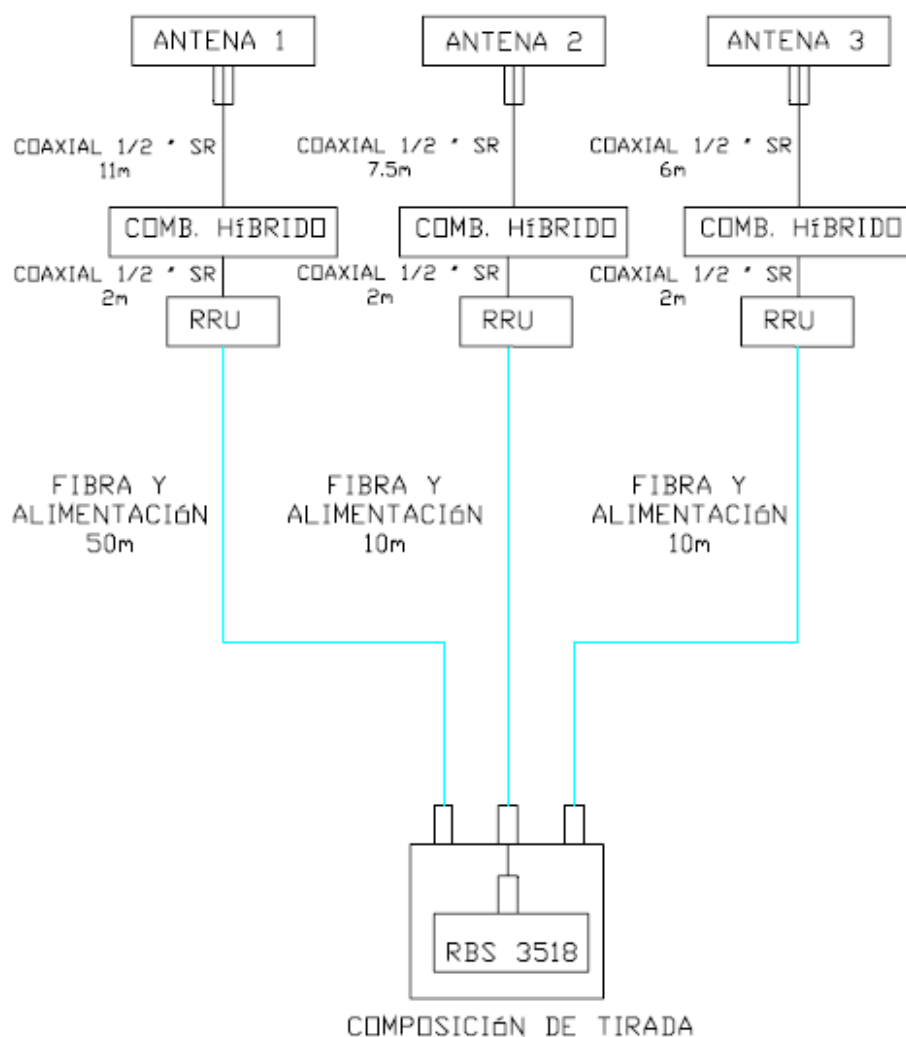


Figura 5.42 Diagrama radiofrecuencia Casino.

Las pérdidas en el recorrido de la señal [Tabla 5.3] hasta las antenas son las siguientes:

	Pérdidas conectores (dB)		Pérdidas cable (dB)		Pérdidas elementos auxiliares (dB)	TOTAL (dB)
	CONECTORES	DESCARGADORES	1/2	7/8		
UMTS ant1	0.8	0.1	1.42	Np	3	5.32
UMTS ant2	0.8	0.1	1.04	Np	3	4.94
UMTS ant3	0.8	0.1	0.87	Np	3	4.77

Tabla 5.3 Tabla de pérdidas Casino



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Como se puede observar en los planos las antenas están colocadas en diferentes puntos, esto hace que la tirada de cable para cada antena no sea la misma. Hasta ahora todas las antenas estaban colocadas sobre un mismo mástil o torre, pero en esta ocasión están colocadas en un habitáculo de forma cilíndrica en la azotea, esto conlleva que la tirada de cable sea diferente.

Con lo que se obtiene unas características propias de la estación [Tabla 5.4] para cada sector:

	ANT 1	ANT2	ANT3
Potencia BTS	33,01	33,01	33,01
Potencia MS	30,00	30,00	30,00
Gantena BTS	12,00	12,00	12,00
Gantena MS	1,00	1,00	1,00
Lcable BTS	5,32	4,49	4,77

Tabla 5.4 Tabla de características propias de la estación.

El estudio de esta estación se realiza para las diferentes antenas, ya que están situadas en diferentes sitios. Así que tendremos el mismo formato de estudio que en las anteriores estaciones, pero en vez de tener tecnologías, tendremos diferentes antenas.



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Teniendo todos estos datos ya se puede obtener los resultados para las potencias recibidas tanto en la BTS como en el MS, en ANT1:

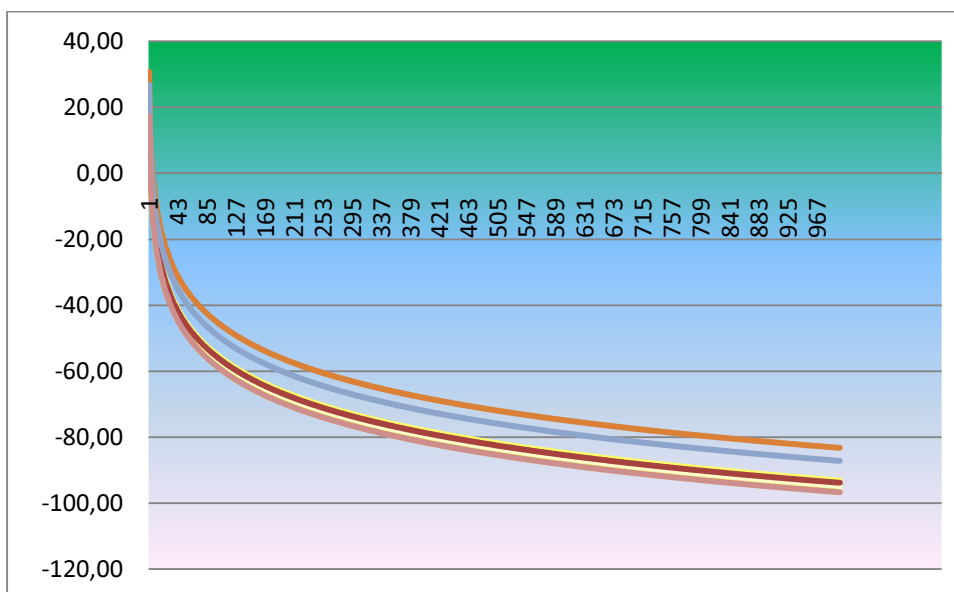


Figura 5.43 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35

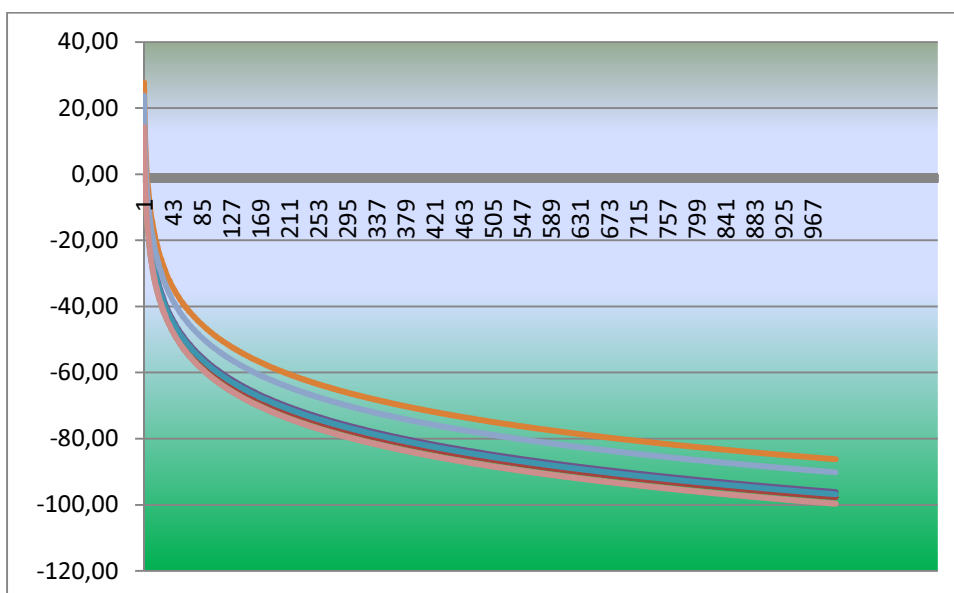


Figura 5.44 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35



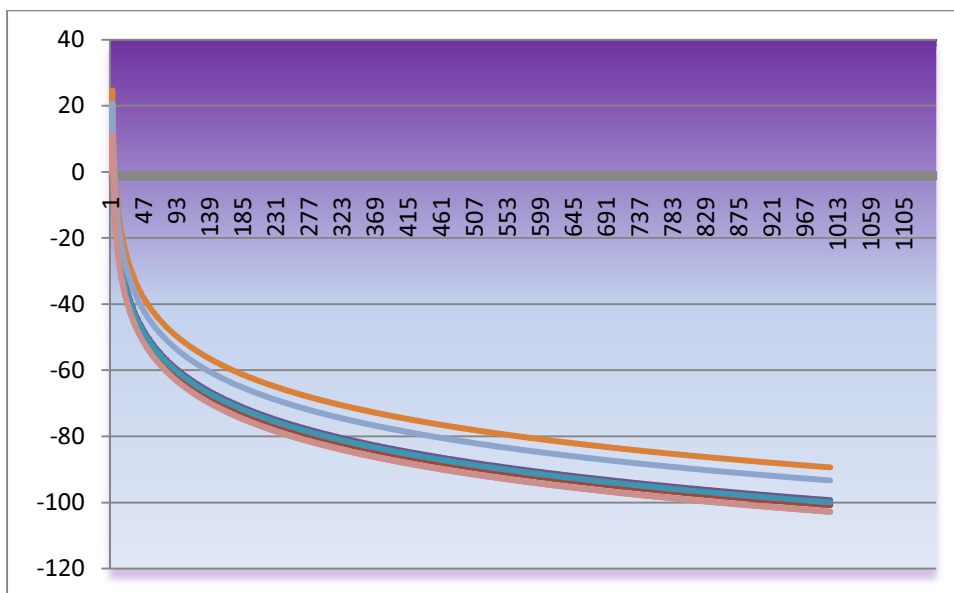


Figura 5.45 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

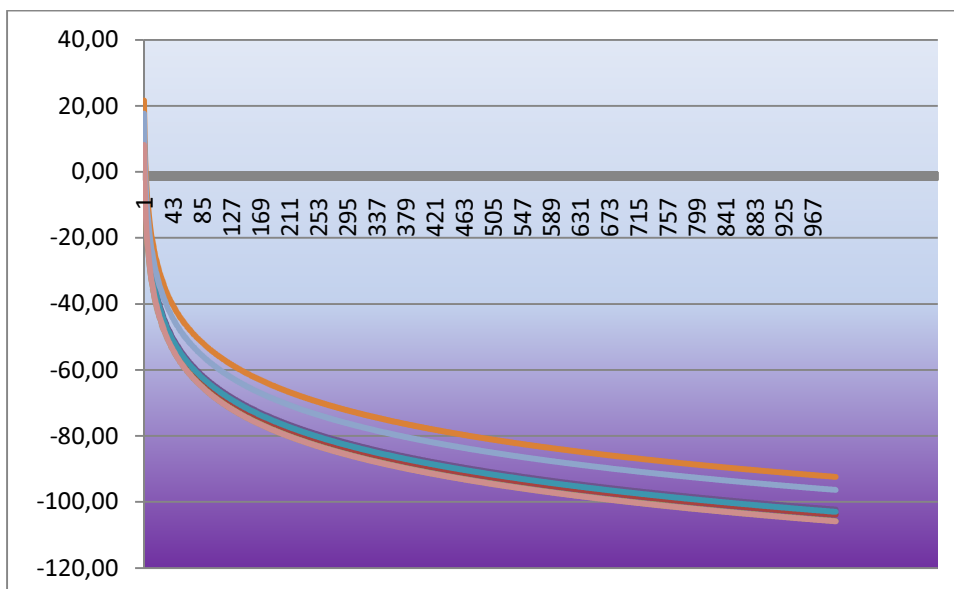


Figura 5.46 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55



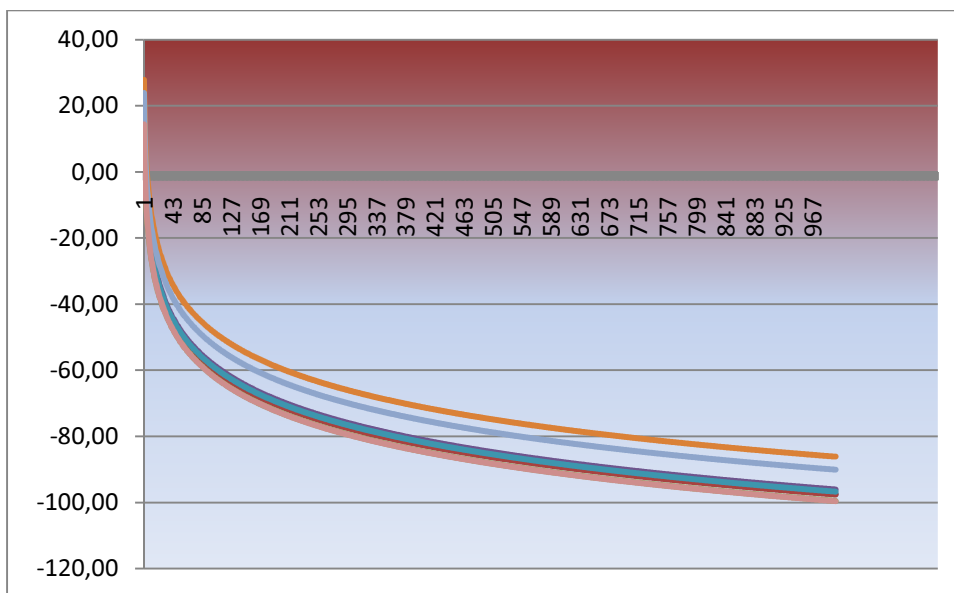


Figura 5.47 Potencia recibida en el MS para Lori>55

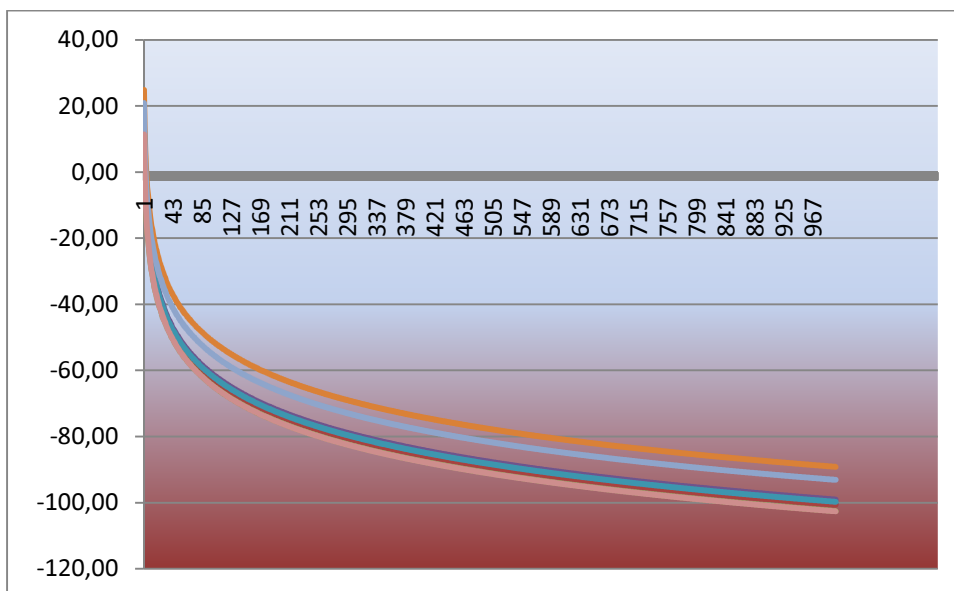


Figura 5.48 Potencia recibida en el BTS para Lori>55

ANT2:

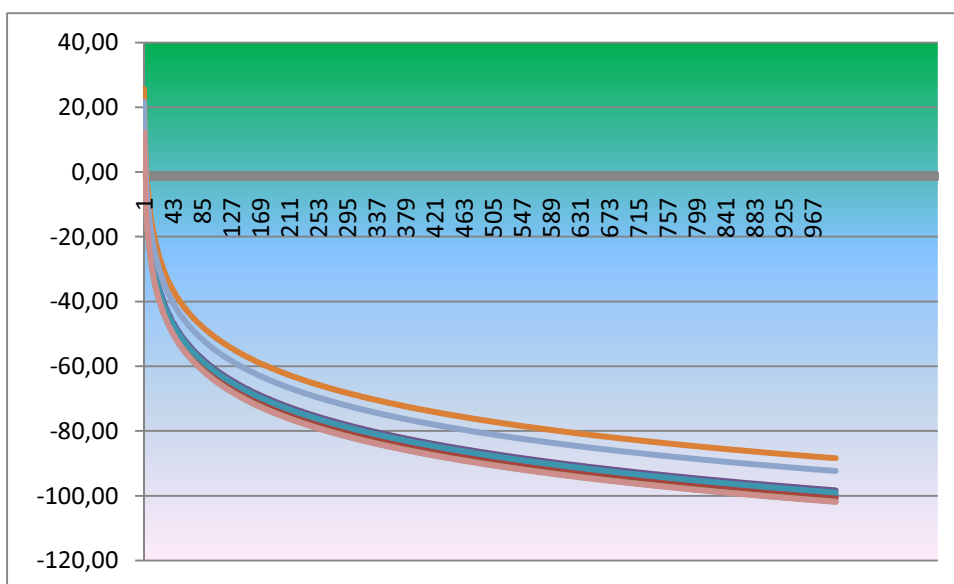


Figura 5.49 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35

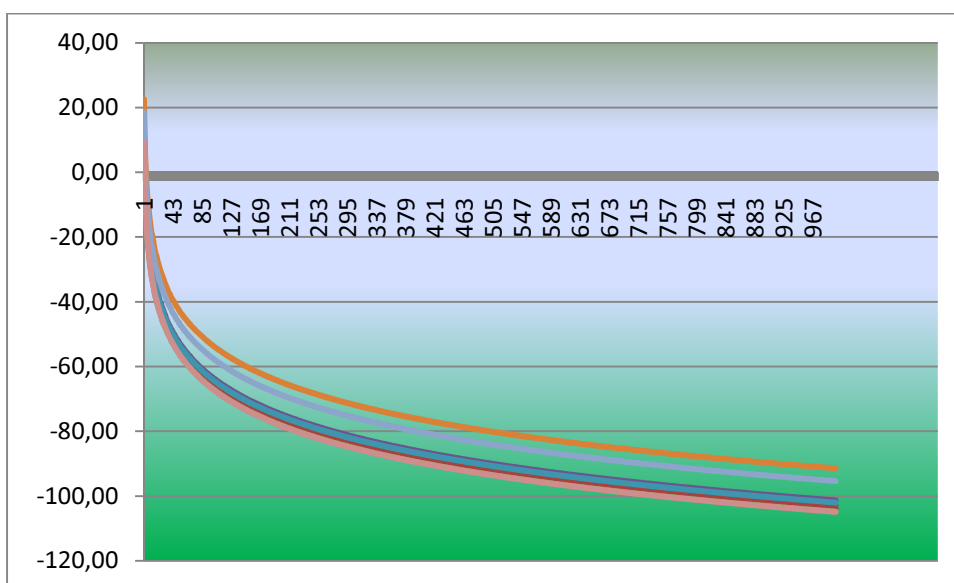


Figura 5.50 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35



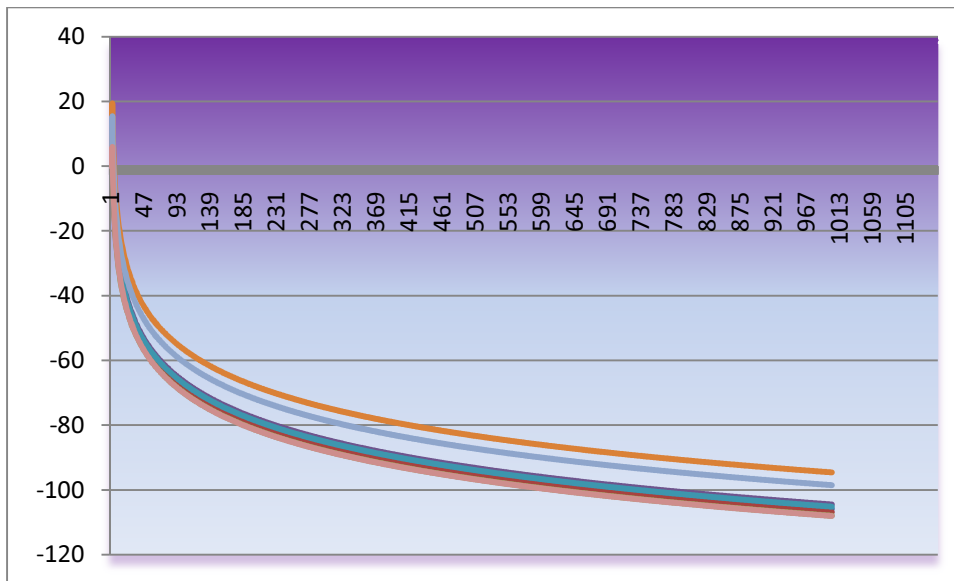


Figura 5.51 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

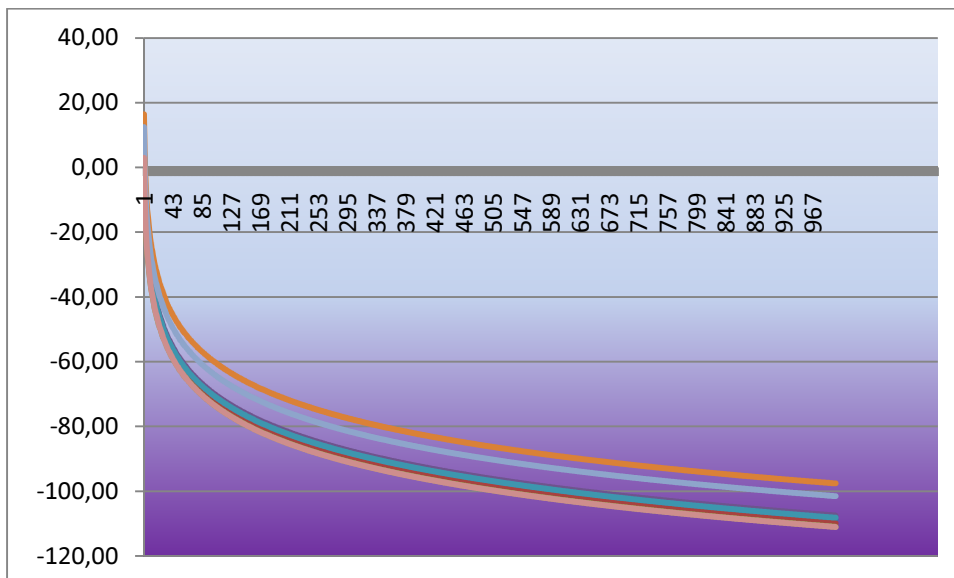


Figura 5.52 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55

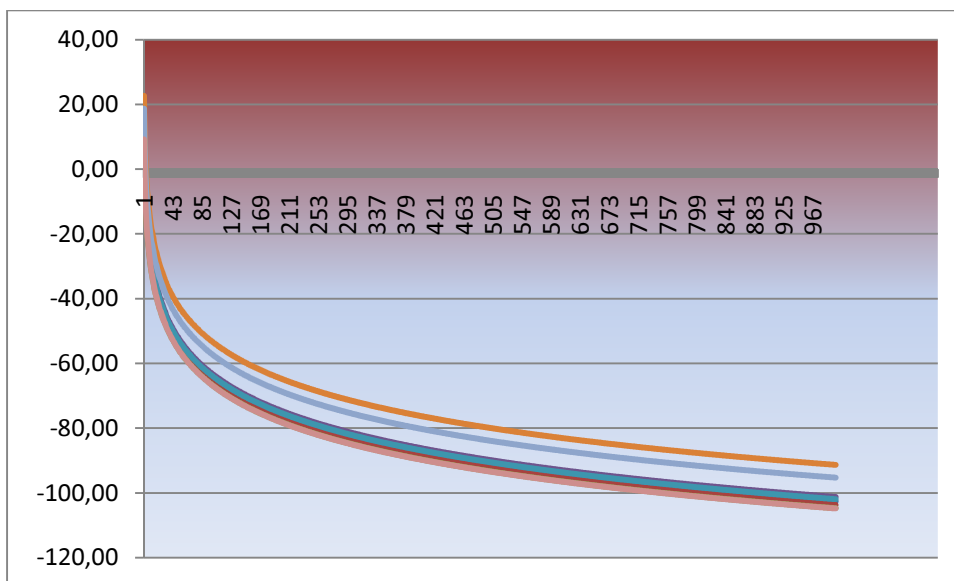


Figura 5.53 Potencia recibida en el MS para Lori>55

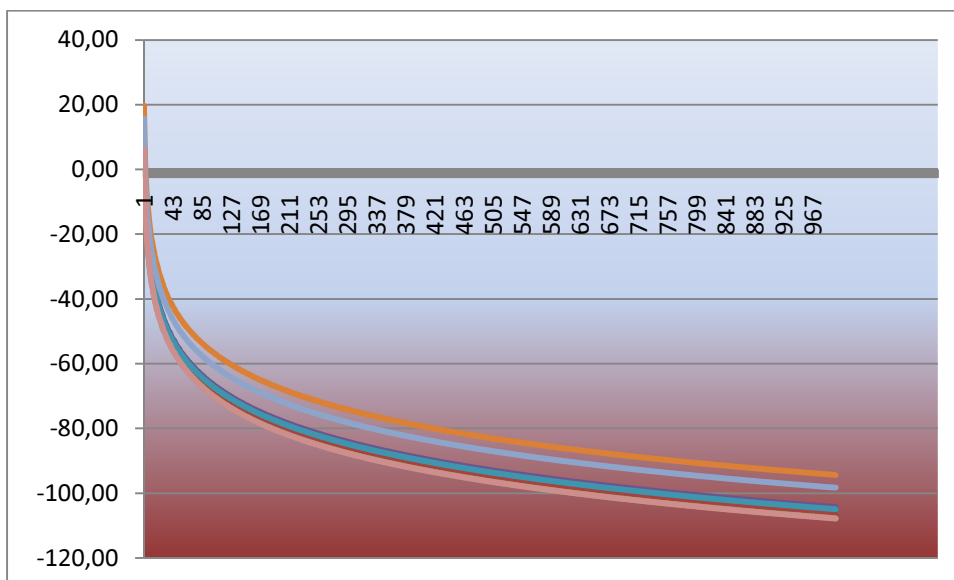


Figura 5.54 Potencia recibida en el BTS para Lori>55



ANT3:

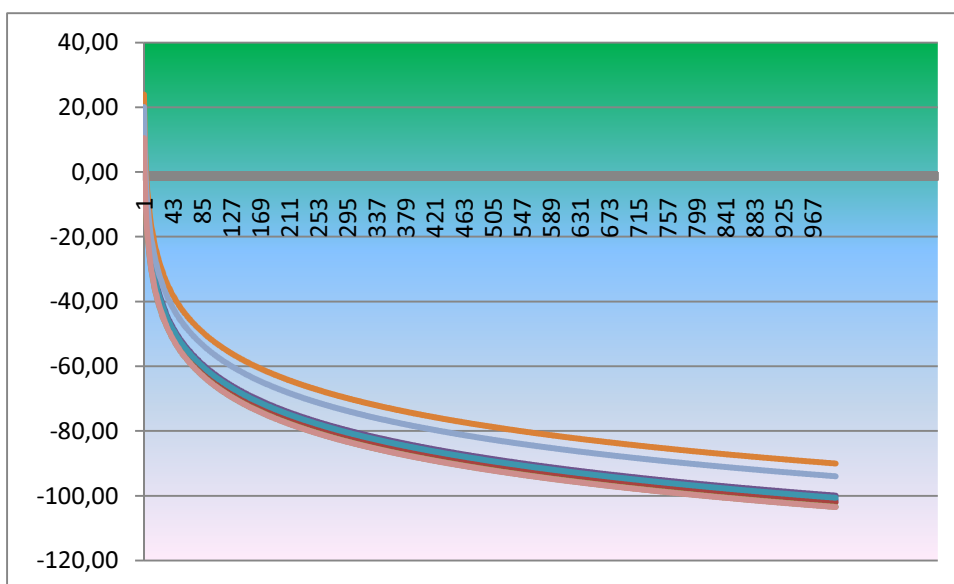


Figura 5.55 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35

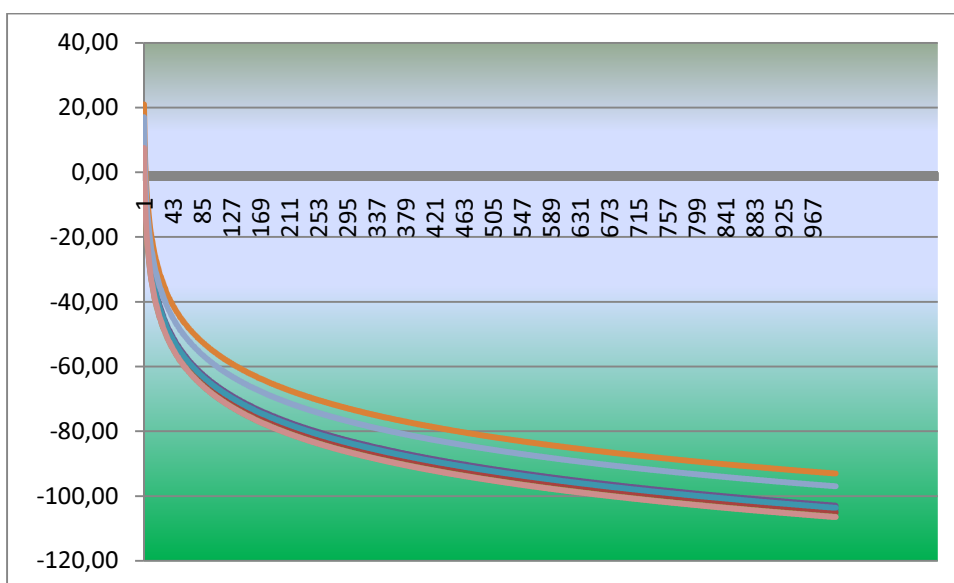


Figura 5.56 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35



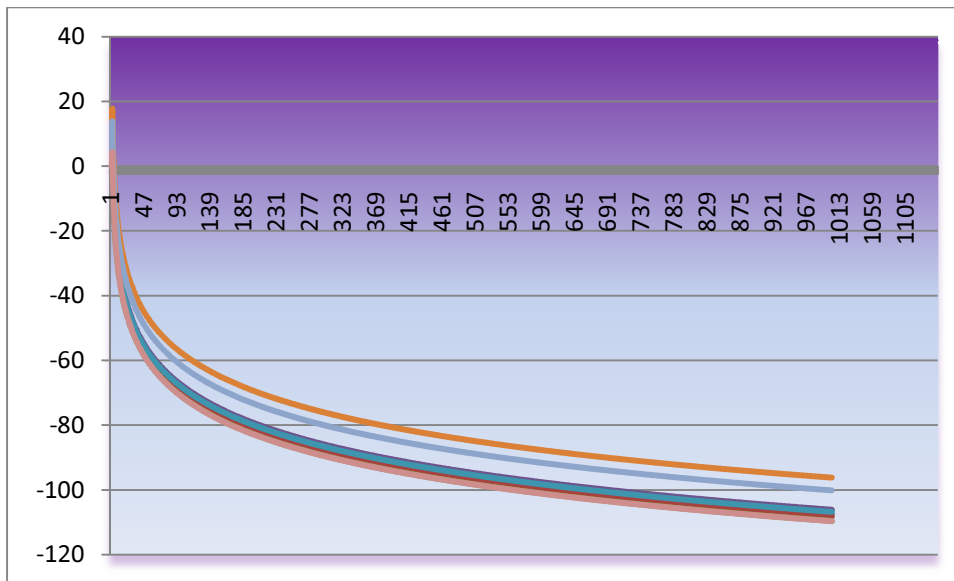


Figura 5.57 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

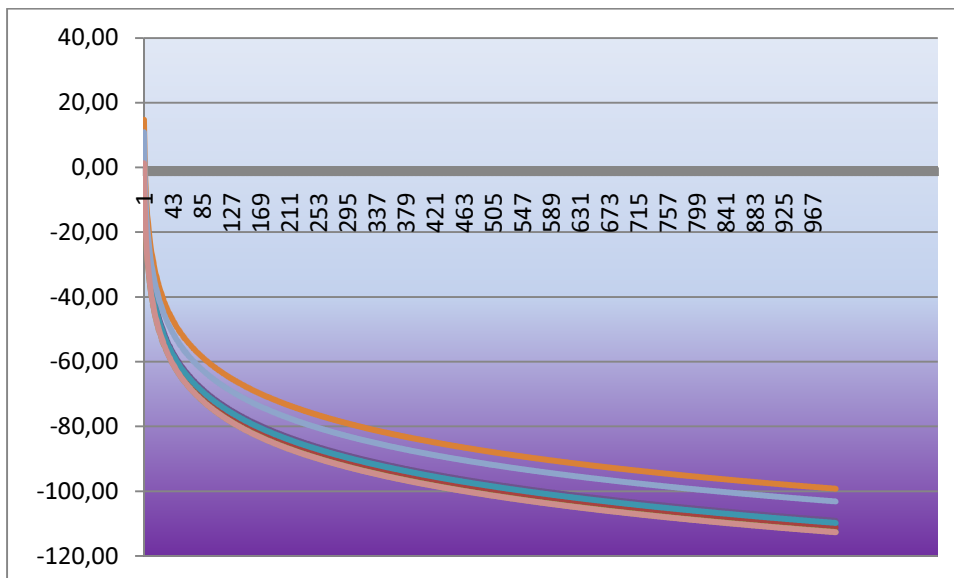


Figura 5.58 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55

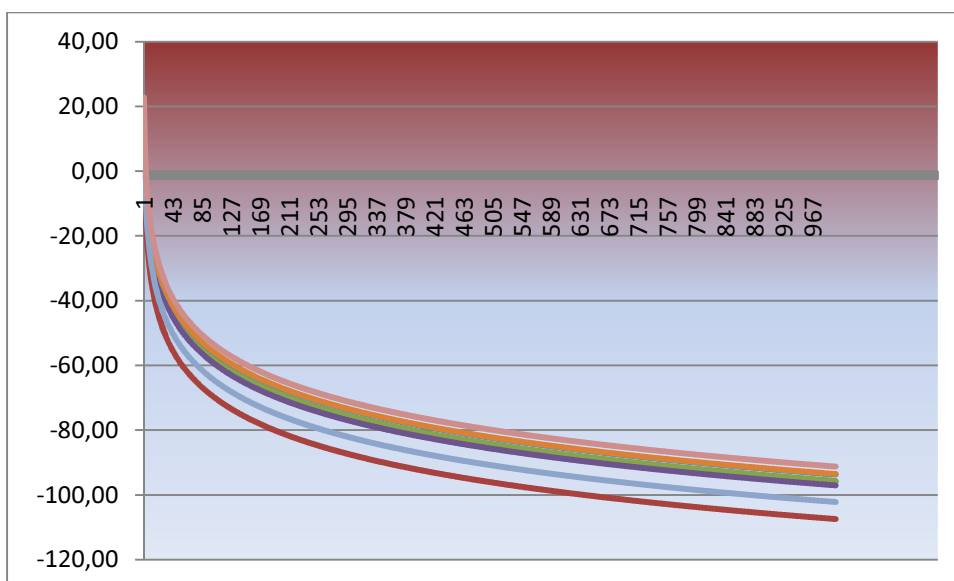


Figura 5.59 Potencia recibida en el MS para Lori>55

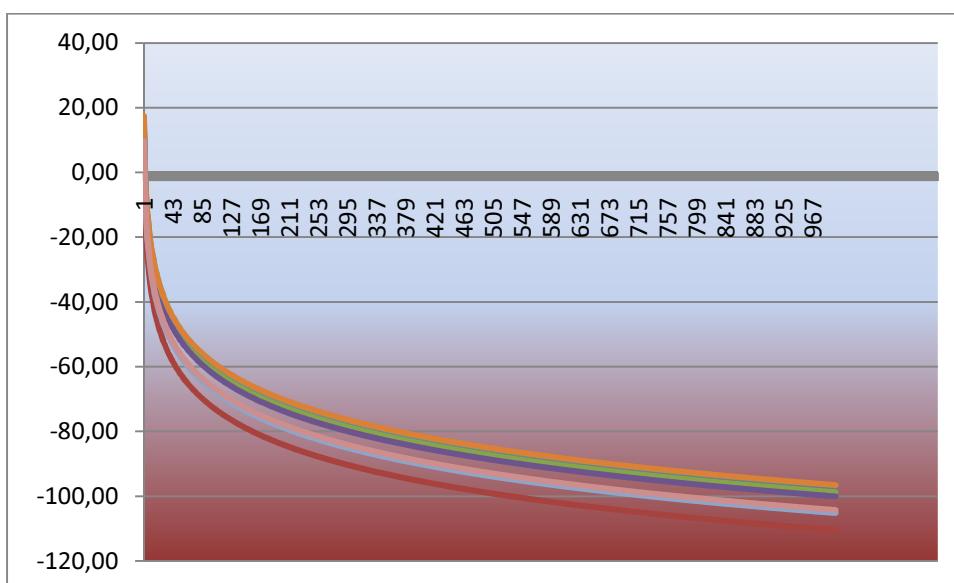


Figura 5.60 Potencia recibida en el BTS para Lori>55

Los niveles calculados son prácticamente igual para todas las antenas, ya que la diferencia la marca el cable y es mínima. Se puede concluir que el estudio se puede realizar con una sola antena.

Como se puede observar los peores niveles de cobertura van en la radial de 45°:

[Figura 5.61]



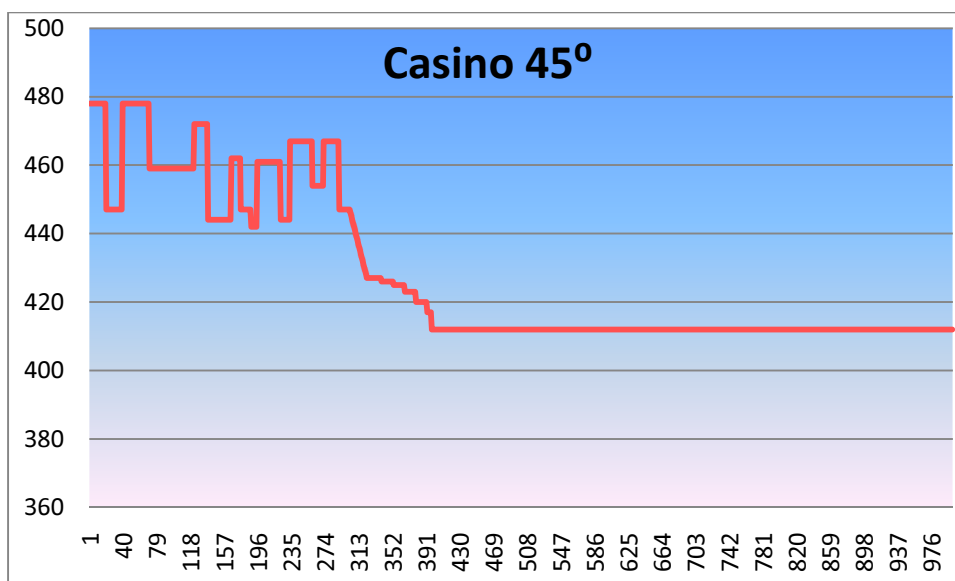


Figura 5.61 Perfil radial de 45°

Los mejores para 225°:

[Figura 5.62]

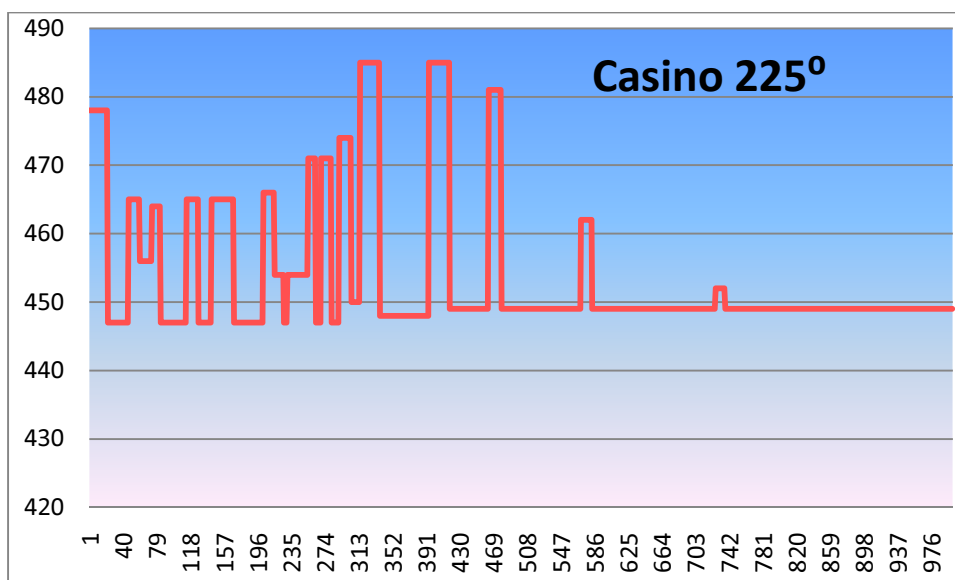


Figura 5.62 Perfil radial de 225°



5.4 ESLAVA.

Se trata de una estación situada en un edificio de siete plantas [Figura 5.63], en las proximidades de la plaza de la Virgen de la O. Las antenas se encuentran en la terraza del edificio [Figura 5.64] y la sala de equipos en la planta cuarta.

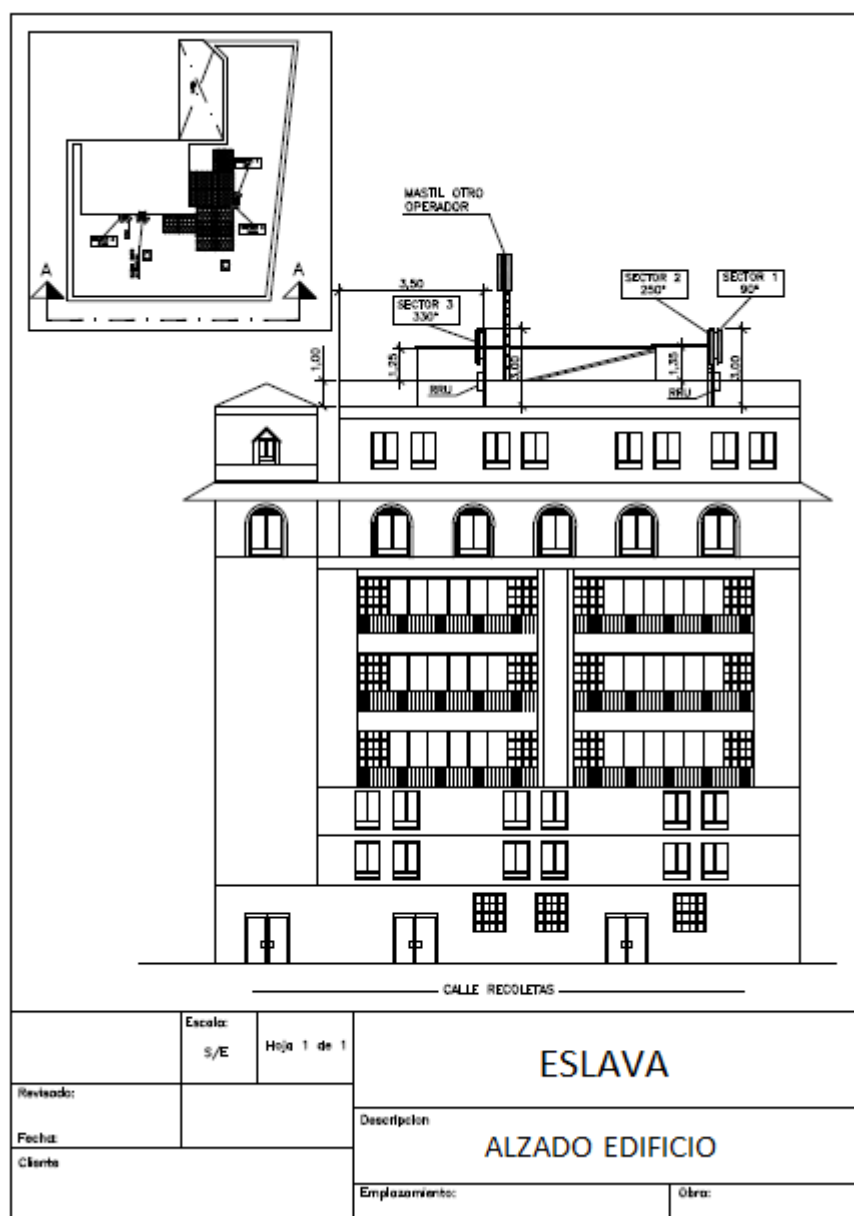


Figura 5.63 Plano alzado Eslava

Detalle de la sala de equipos [Figura 5.65] donde se ve que hay dos equipos Nokia ultrasite para GSM y DCS. Para dar cobertura de UMTS se tiene un Ericsson 3202. Las antenas son Ryma TTD3-600TV, con dos bocas para cada tecnología. De esta manera no se tiene que combinar señales, tampoco hay ningún operador que use nuestras mismas antenas, con lo que las pérdidas vendrán dadas por la tirada de cable.



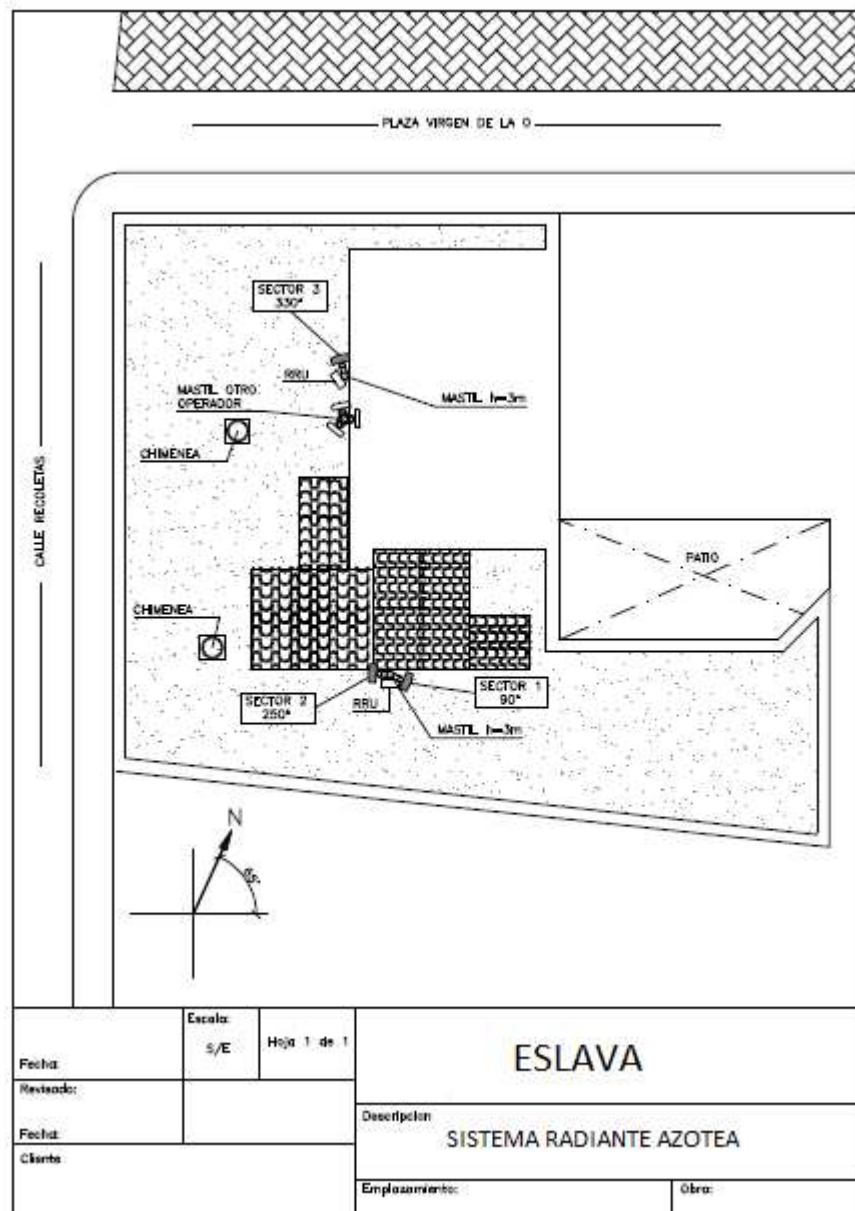


Figura 5.64 Plano planta azotea Eslava

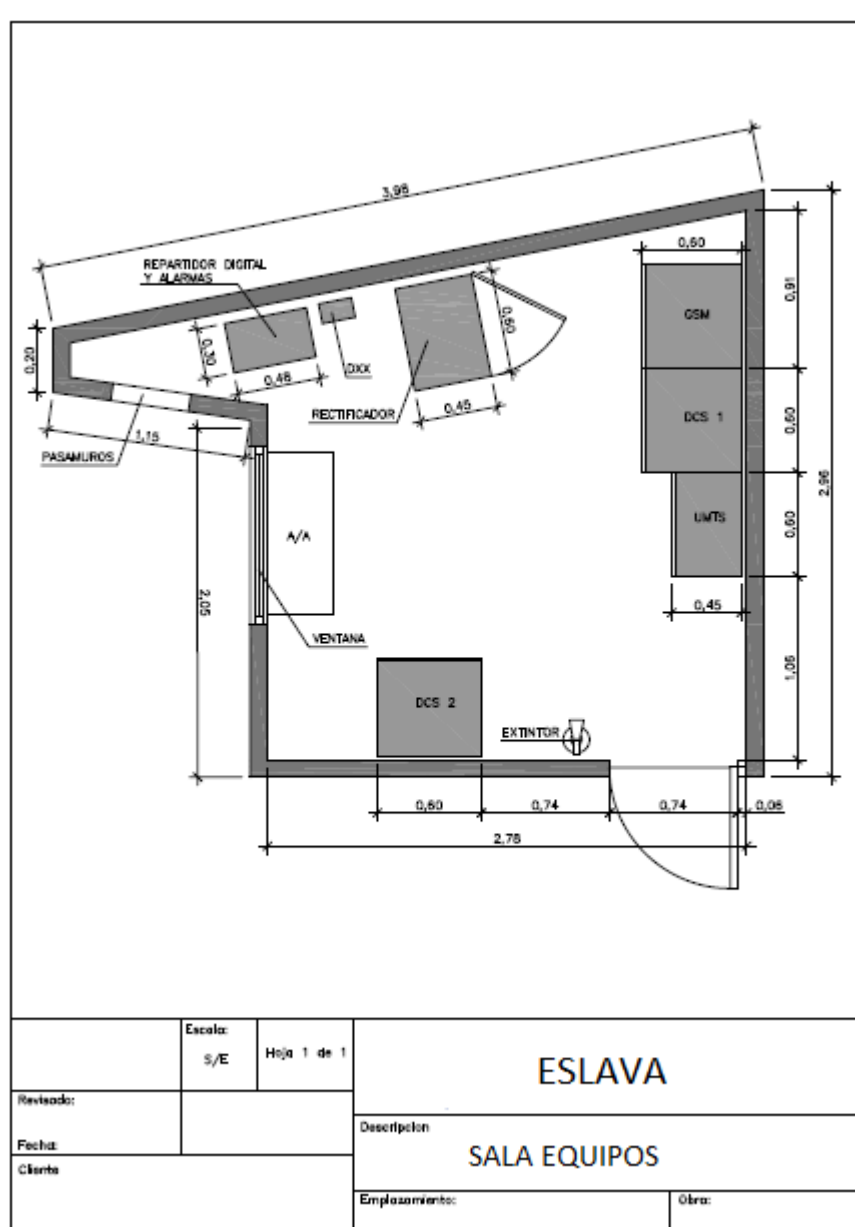


Figura 5.65 Plano sala de equipos Eslava

ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

El esquema de radio frecuencia [Figura 5.66], tal y como se explicaba, no se aprecia ningún elemento extra que aumenta las pérdidas.

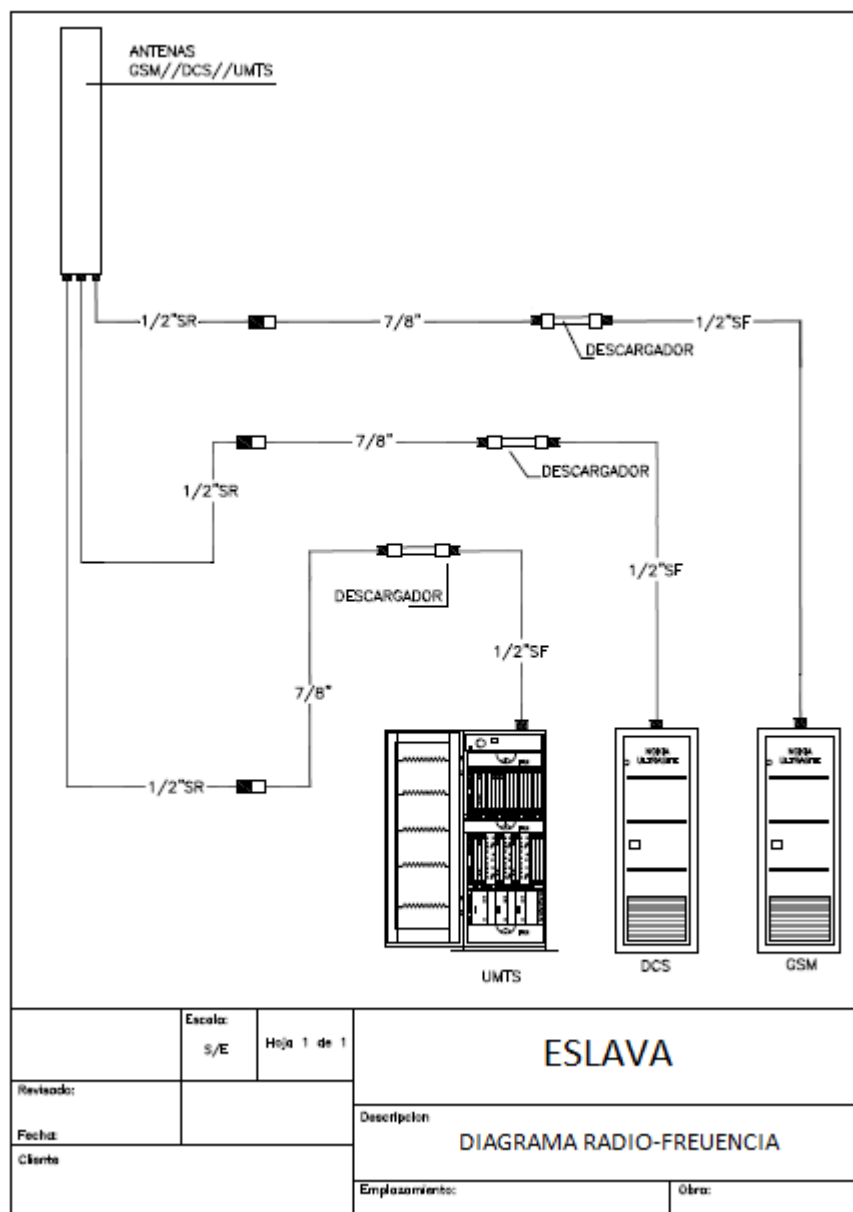


Figura 5.66 Esquema radiofrecuencia Esclava



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Las pérdidas [Tabla 5.5] en el recorrido de la señal hasta las antenas son las siguientes:

	Pérdidas conectores (dB)		Pérdidas cable (dB)			Pérdidas elementos auxiliares (dB)	TOTAL (dB)
	CONECTORES	DESCARGADORES	1/2	7/8	1/2		
UMTS	1.2	0.1	0.3	1.5	0.3	0	3.4
ODCS	1.6	0.1	0.27	2.16	0.27	3+3	10
GSM	1.01	0.1	0.21	2.67	0.21	3+3	10.39

Tabla 5.5 Tabla pérdidas Eslava

Con lo que se obtiene unas características propias de la estación [Tabla 5.6] para cada tecnología:

	GSM	DCS	UMTS
Potencia BTS	46,02	46,02	33,01
Potencia MS	30	30	30,00
Gantena BTS	15,6	17,1	17,20
Gantena MS	1	1	1,00
Lcable BTS	10,39	10	3,40

Tabla 5.6 Tabla características propias de la estación Eslava

Las pérdidas son normales para una estación en la que solo influye la tirada de cable, y en la que se ha buscado el menor recorrido desde los equipos a las antenas.



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Teniendo todos estos datos ya se puede obtener los resultados para las potencias recibidas tanto en la BTS como en el MS, en GSM:

[De la figura 5.67 a la figura 5.84]

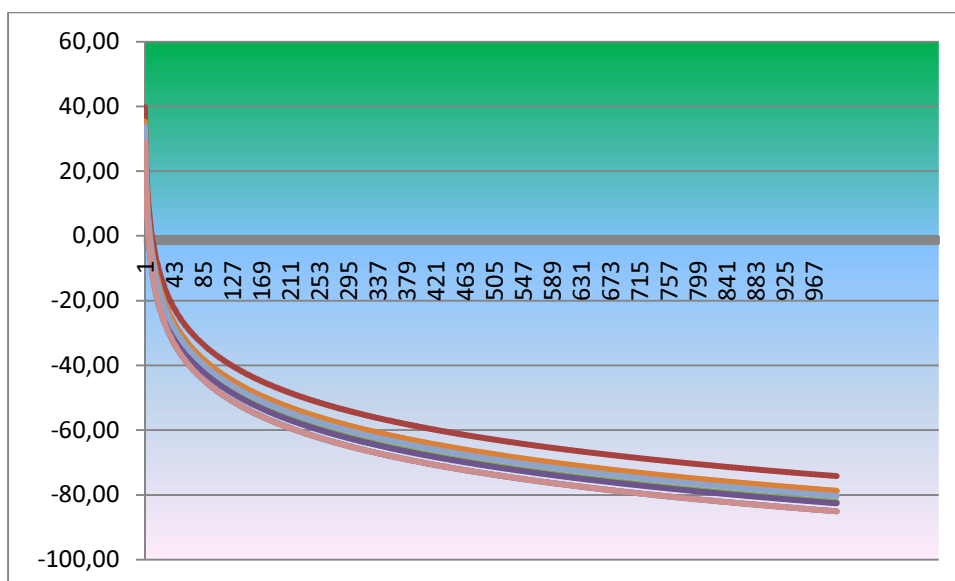


Figura 5.67 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35

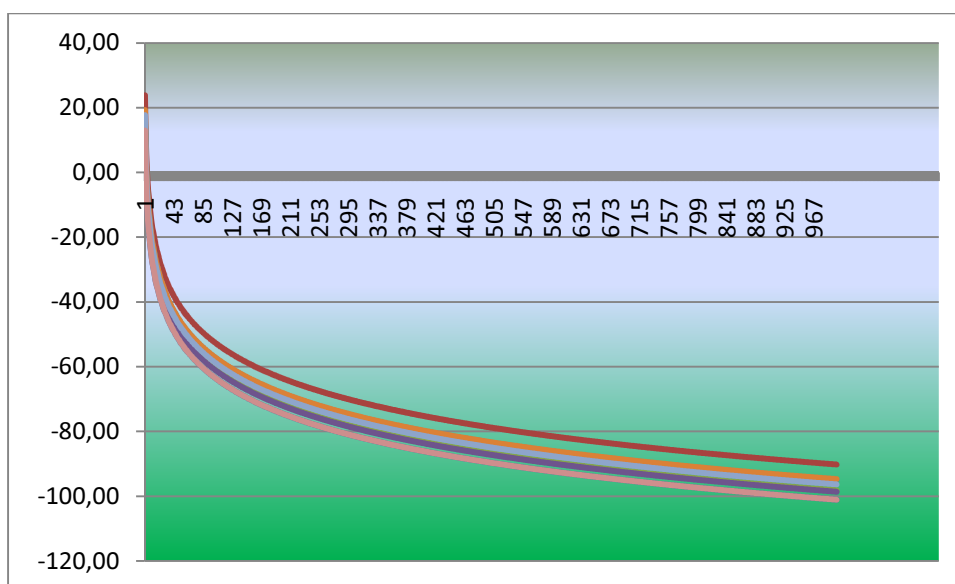


Figura 5.68 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35



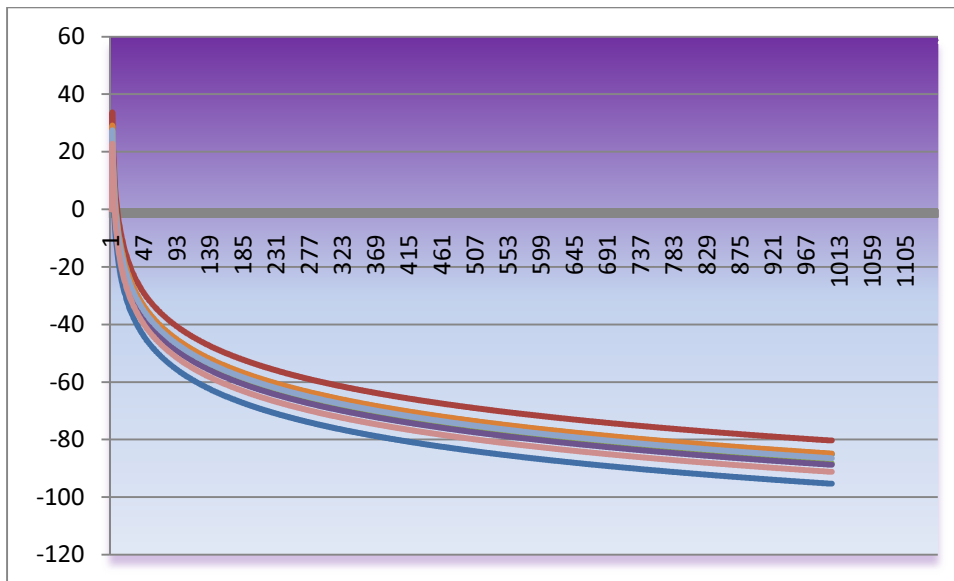


Figura 5.69 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

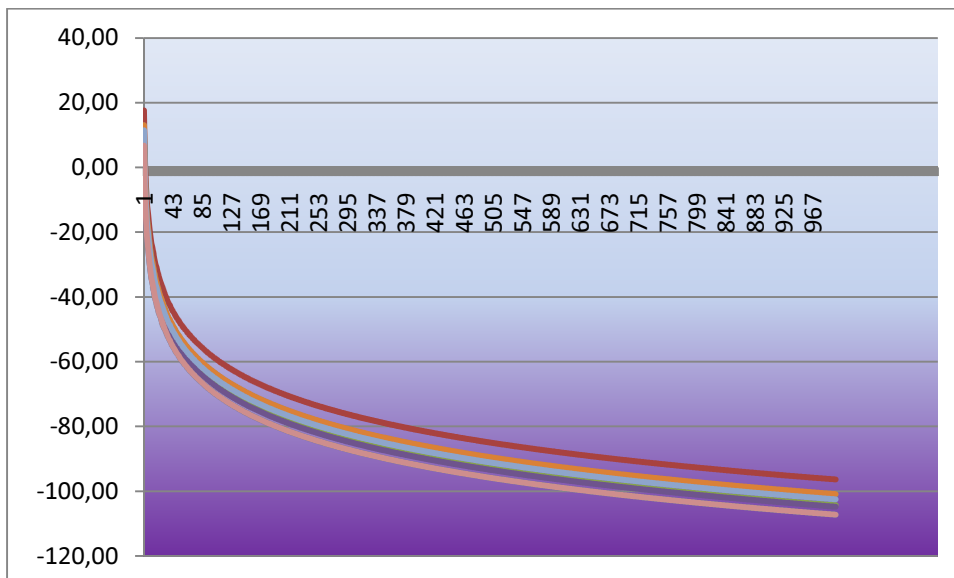


Figura 5.70 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55

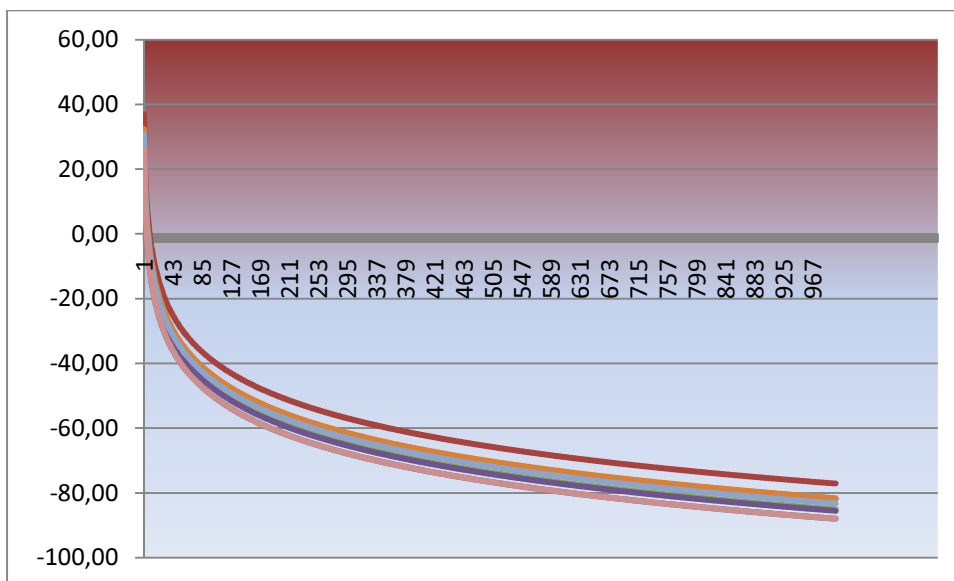


Figura 5.71 Potencia recibida en el MS para Lori>55

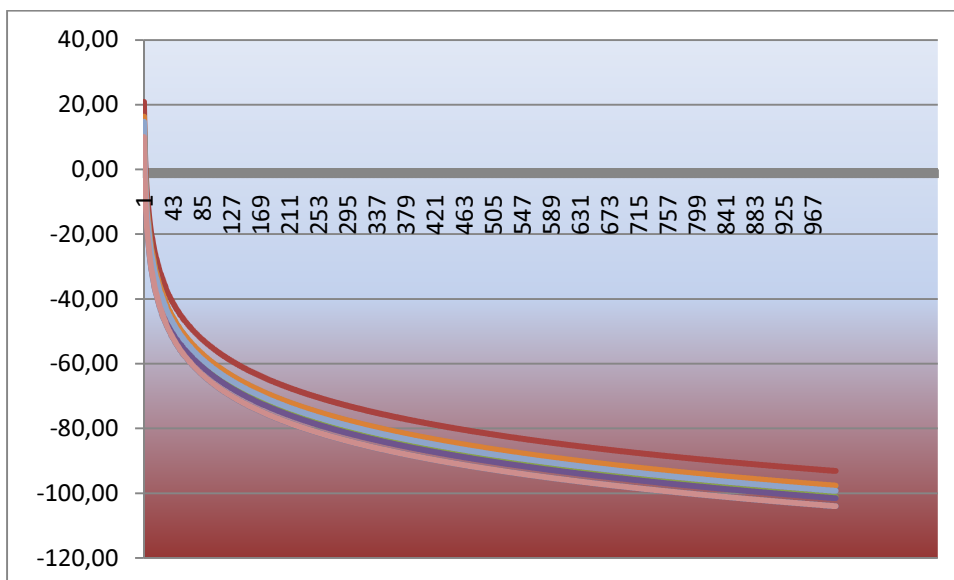


Figura 5.72 Potencia recibida en el BTS para Lori>55

DCS:

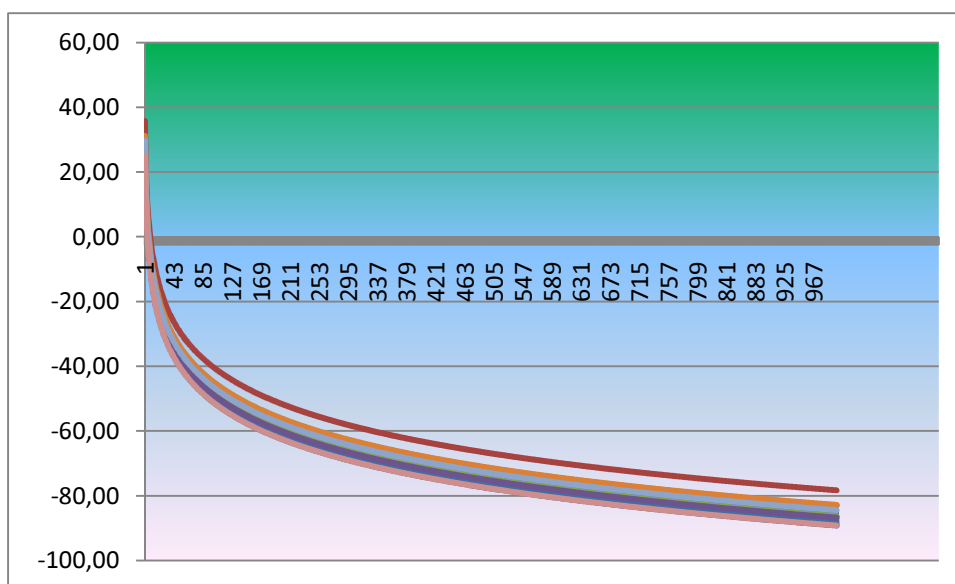


Figura 5.73 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35

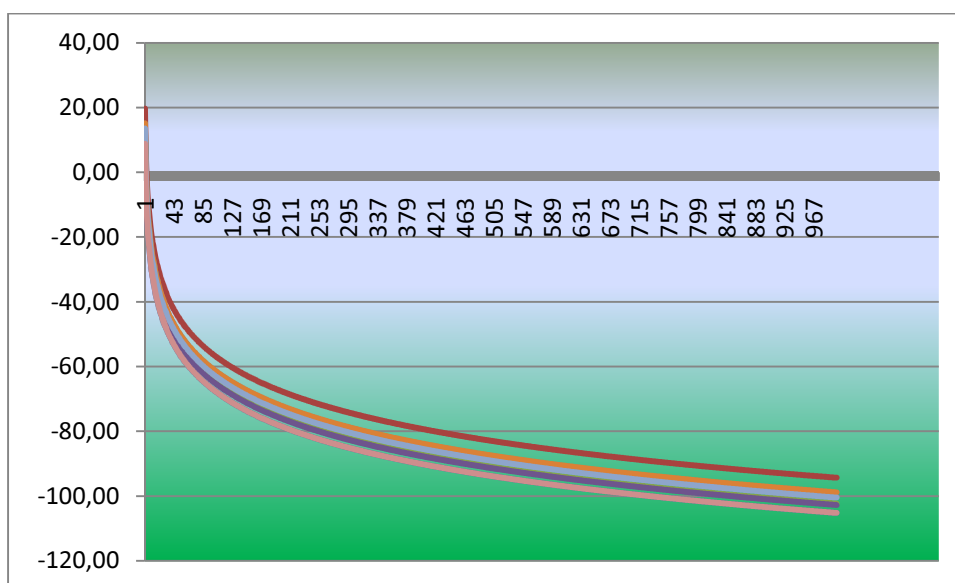


Figura 5.74 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35



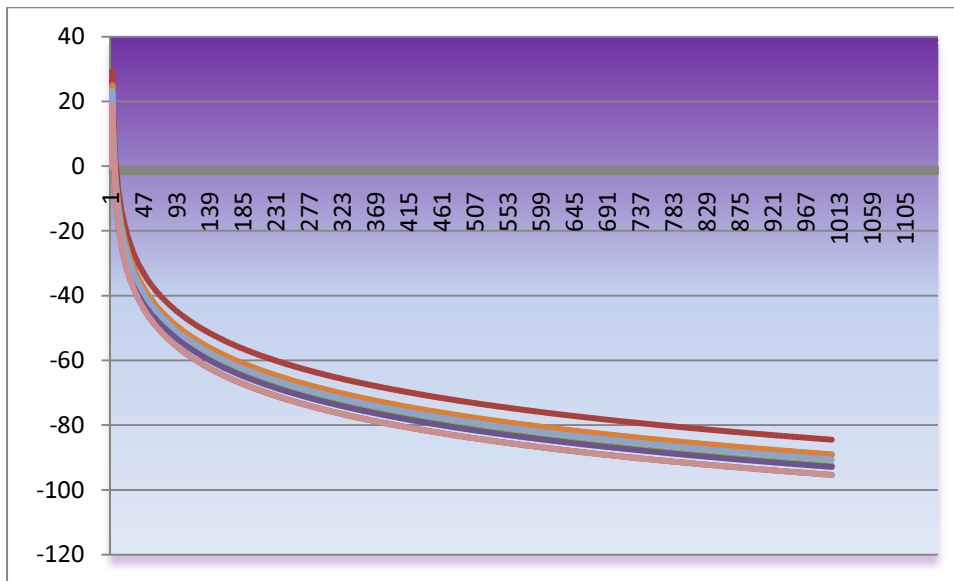


Figura 5.75 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

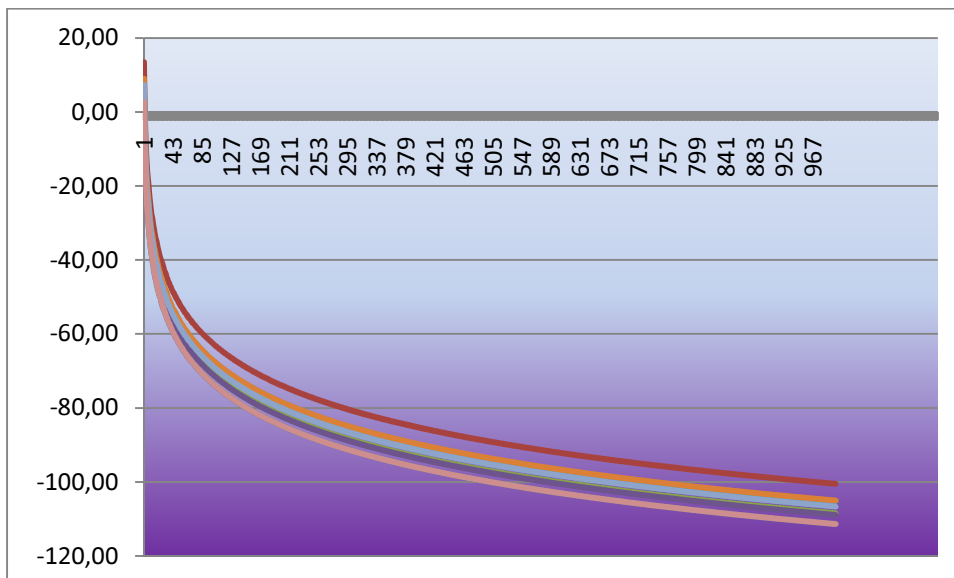


Figura 5.76 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55



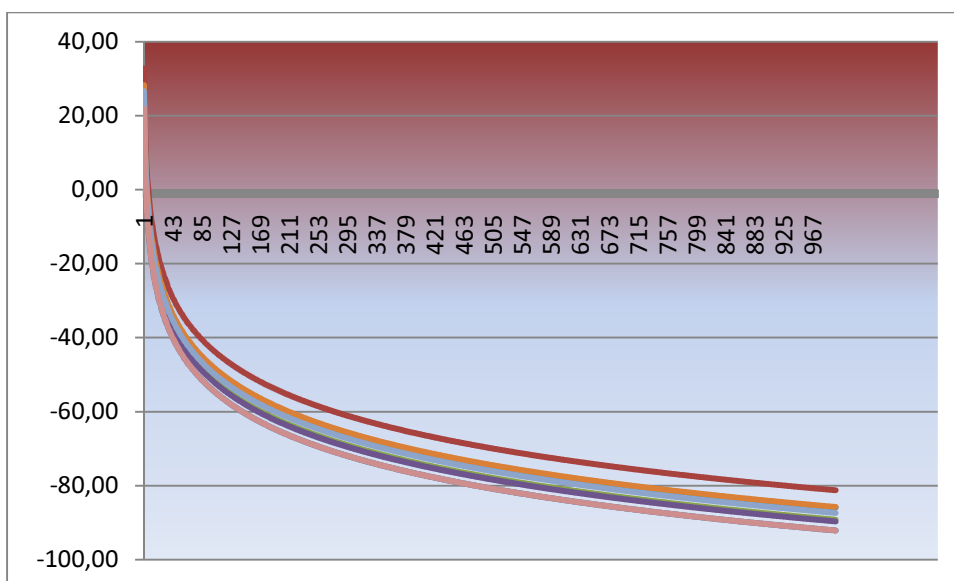


Figura 5.77 Potencia recibida en el MS para Lori>55

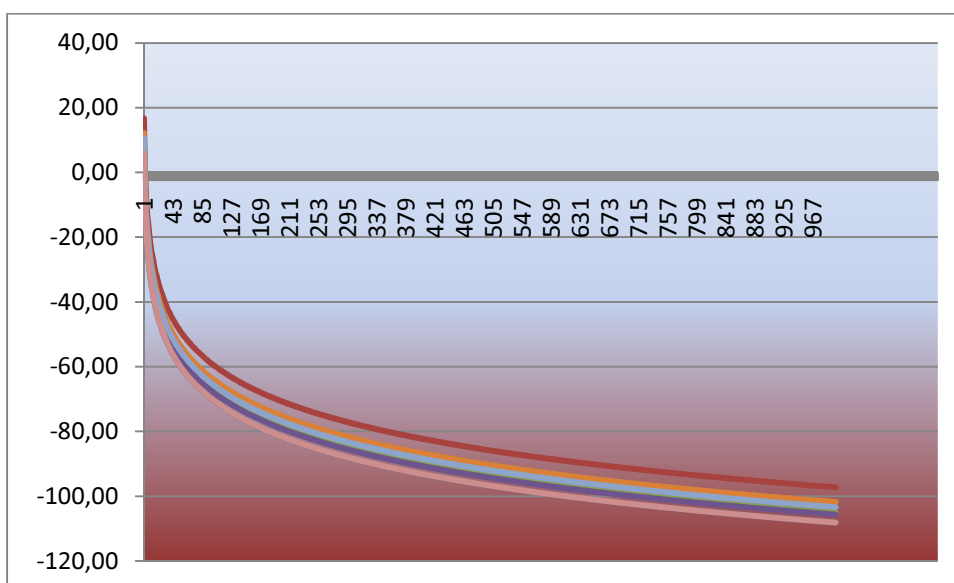


Figura 5.78 Potencia recibida en el BTS para Lori>55



UMTS:

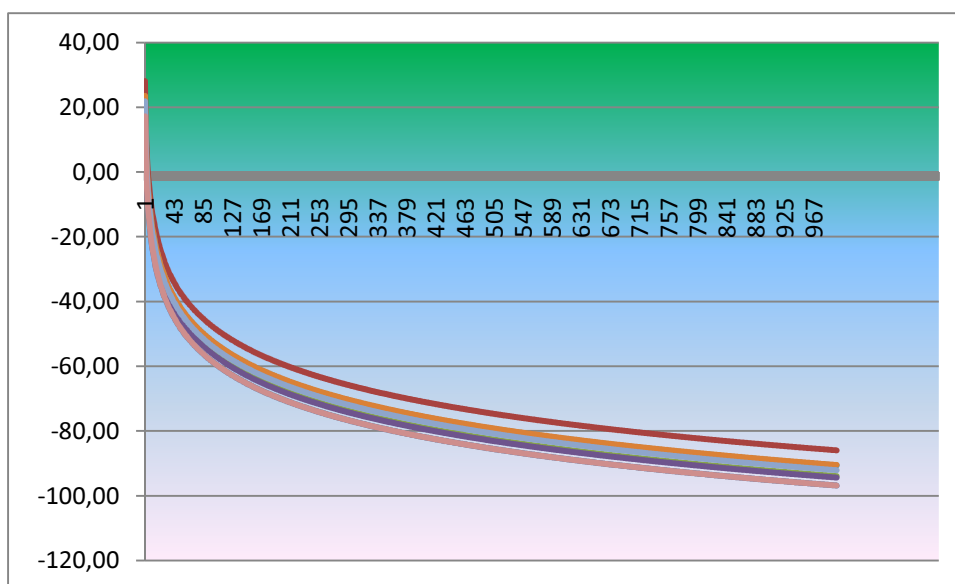


Figura 5.79 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35

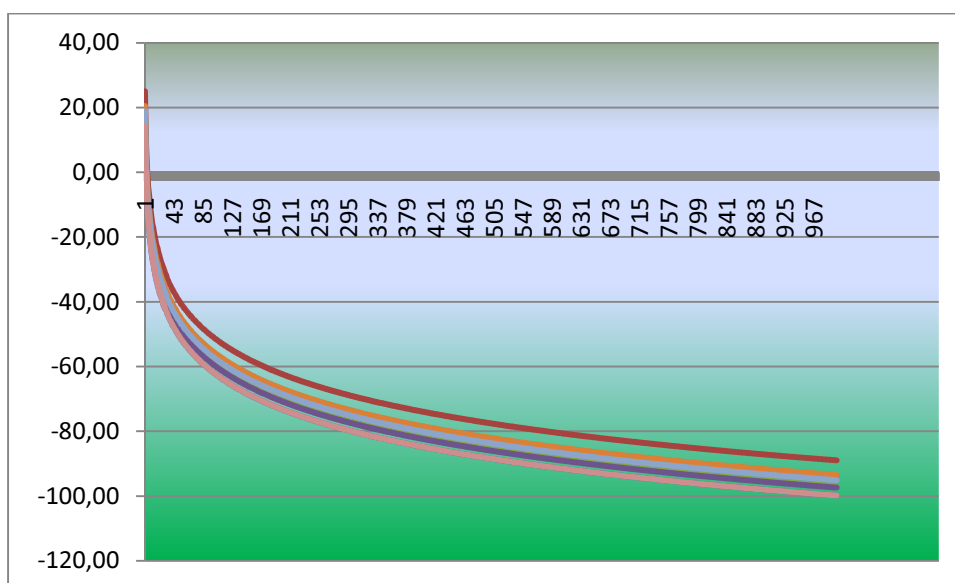


Figura 5.80 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35



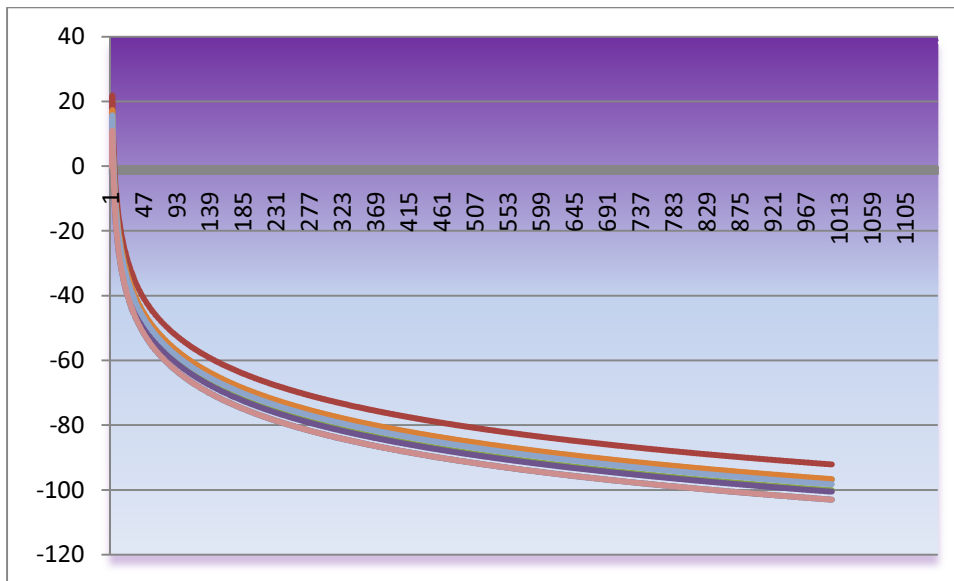


Figura 5.81 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

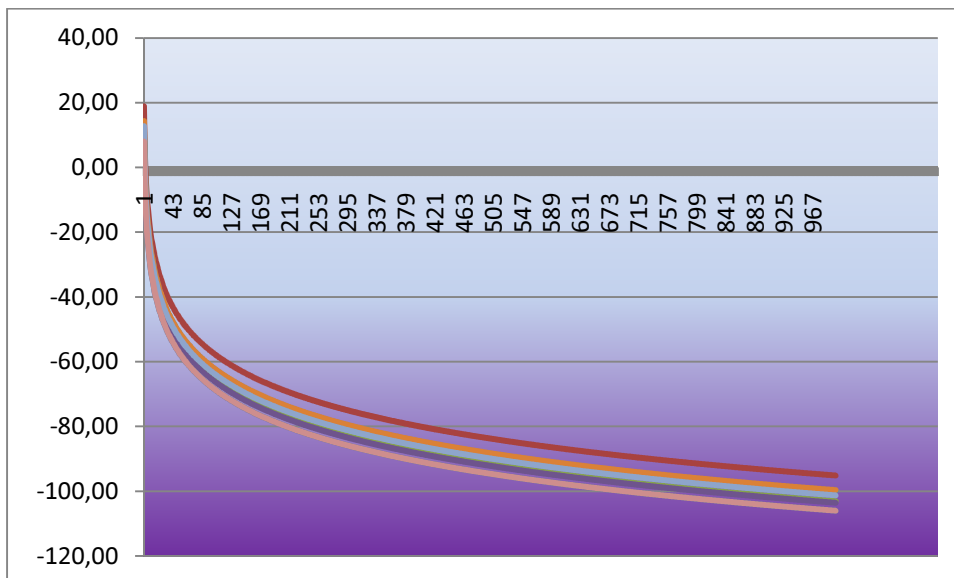


Figura 5.82 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55

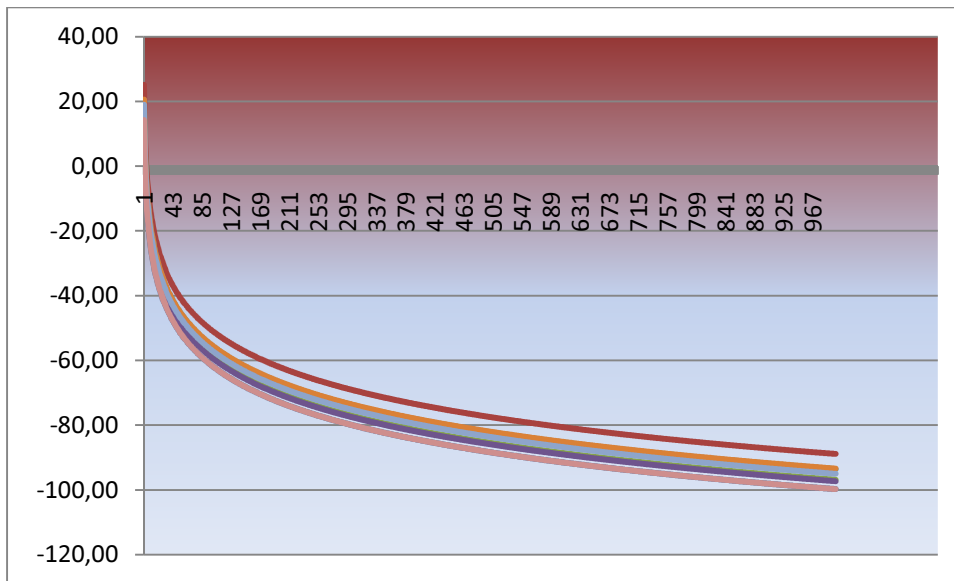


Figura 5.83 Potencia recibida en el MS para Lori>55

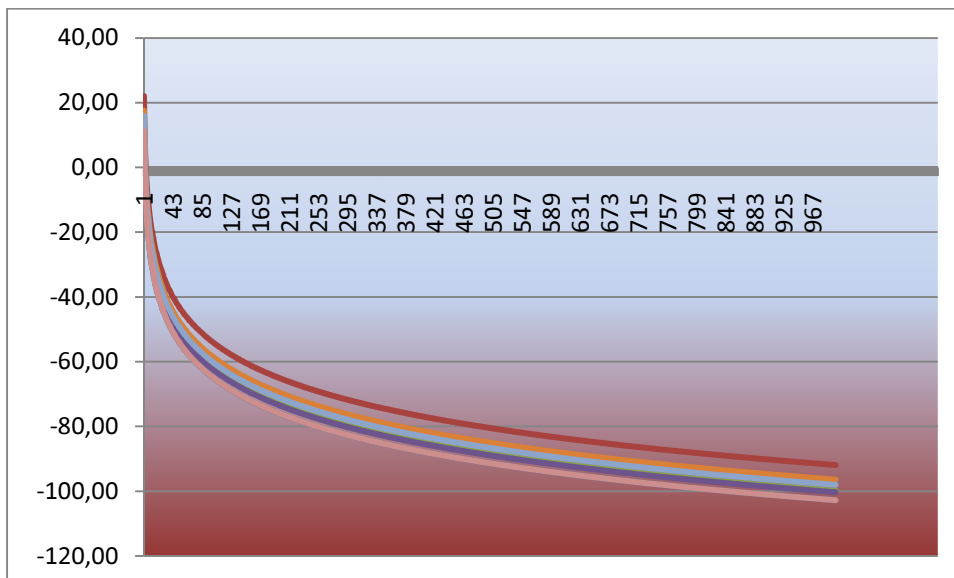


Figura 5.84 Potencia recibida en el BTS para Lori>55

5.6. MAISSONAVE

Se trata de una estación de tipo exterior, se dispone de una terraza [Figura 5.85] donde se colocan los equipos y el soporte de antenas. Se dispone de tecnología DCS, GSM y UMTS.

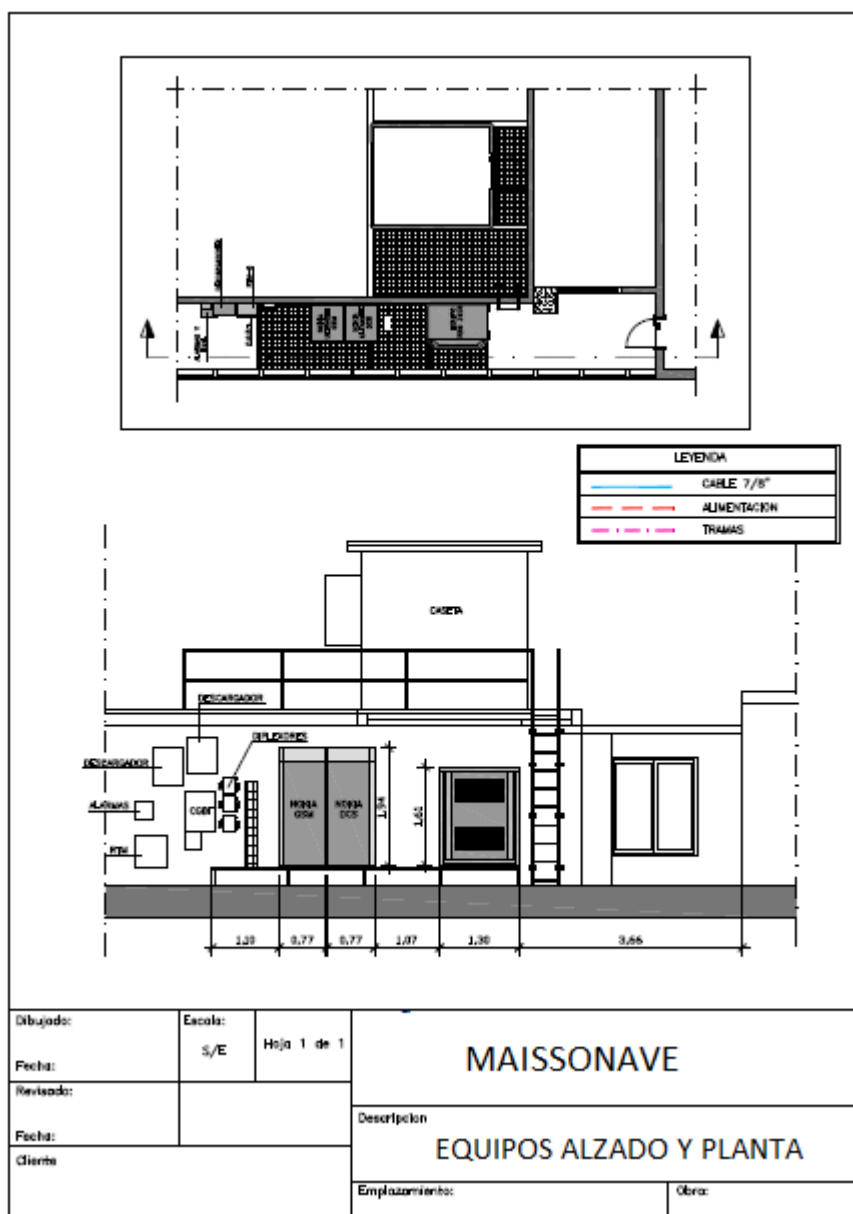


Figura 5.85 Plano alzado y planta Maissonave

Los equipos son Nokia Ultrasite para GSM y DCS, y para UMTS el 3106. Las antenas son K-742265, estas antenas que tienen cuatro bocas nos obligan a diplexar UMTS con DCS. Para el GSM se tienen tiradas directas a la antena.



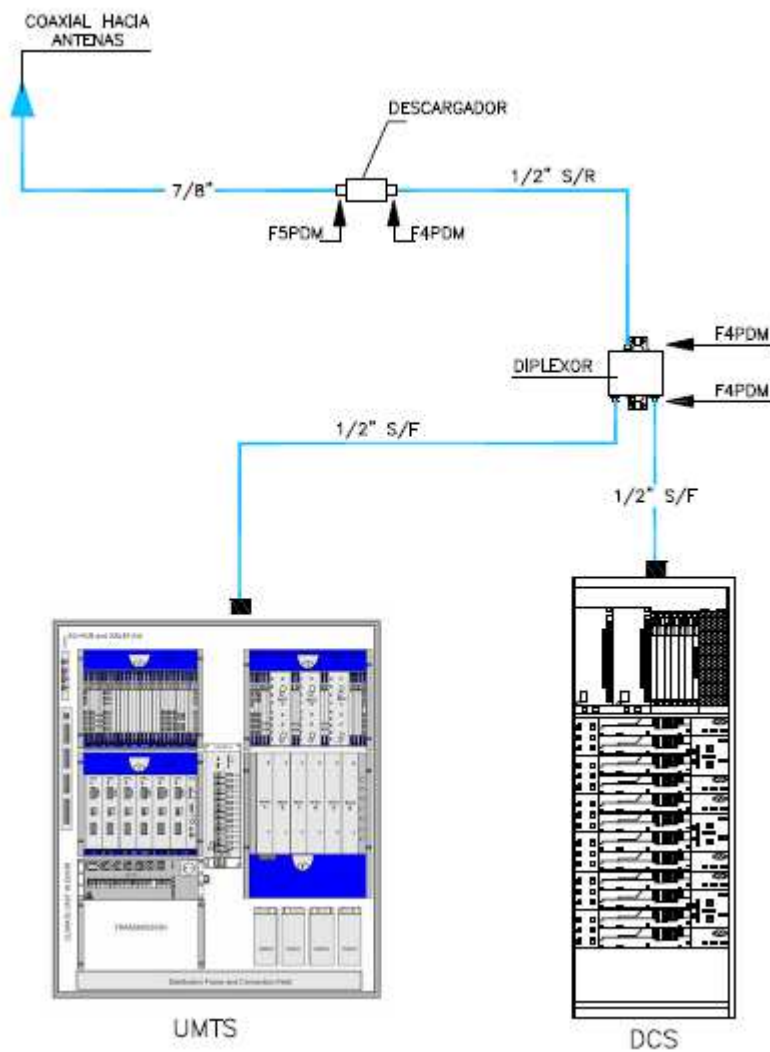


Figura 5.86 Esquema radio frecuencia UMTS, DCS.

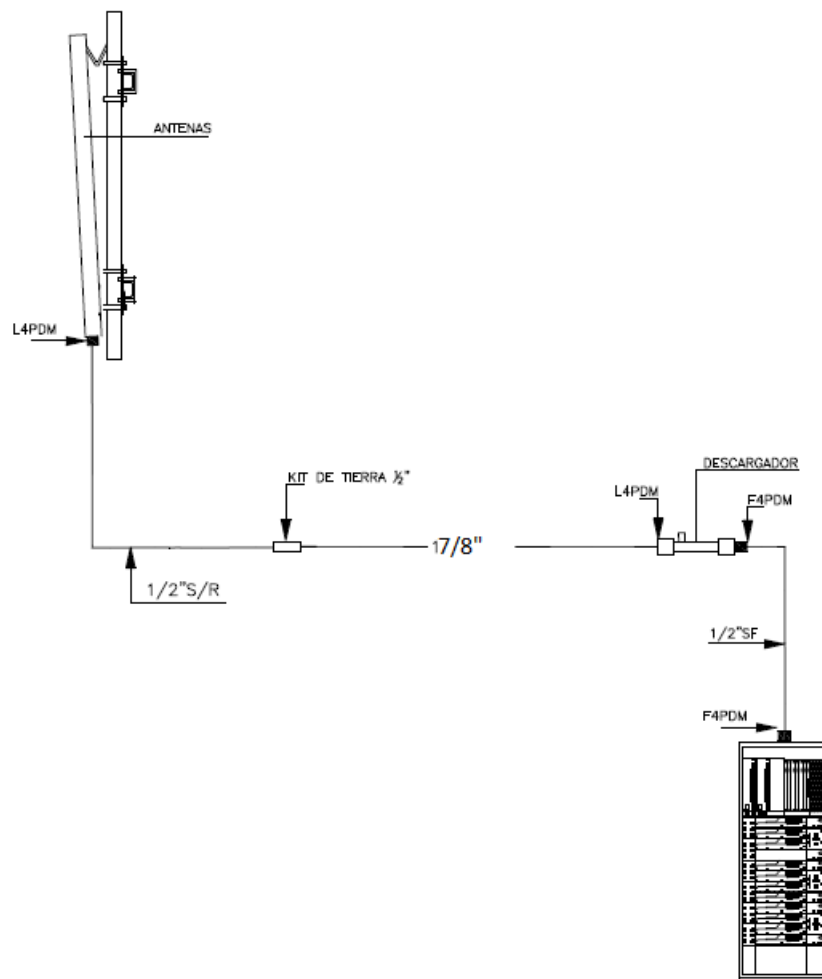


Figura 5.87 Esquema de radio frecuencia GSM

ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Las pérdidas en el recorrido de la señal hasta las antenas son las siguientes:

	Perdidas conectores (dB)		Perdidas cable (dB)		Perdidas elementos auxiliares (dB)	TOTAL (dB)
	CONECTORES	DESCARGADORES	1/2	7/8		
UMTS	1.2	0.1	1.03	1.78	3	7.11
DCS	1.2	0.1	1.03	1.44	3+3+3	12.77
GSM	1.2	0.1	1.03	1	3+3	9.33

Tabla 5.7 Tabla pérdidas Maissonave

Con lo que se obtienen unas características propias de la estación para cada tecnología:

	GSM	DCS	UMTS
Potencia BTS	33,01	33,01	33,01
Potencia MS	43,01	43,01	30,00
Gantena BTS	16	18,3	18,3
Gantena MS	1	1	1
Lcable BTS	9,33	12,77	7,11

Tabla 5.8 Tabla características propias de la estación Maissonave



Teniendo todos estos datos ya se puede obtener los resultados para las potencias recibidas tanto en la BTS como en el MS, en GSM:

[De la figura 5.88 a la figura 5.105]

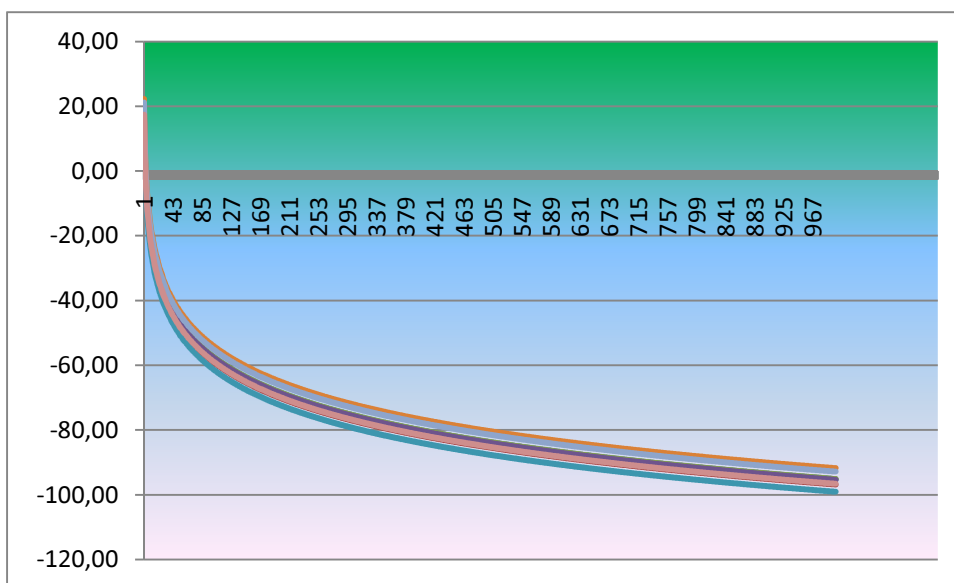


Figura 5.88 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35

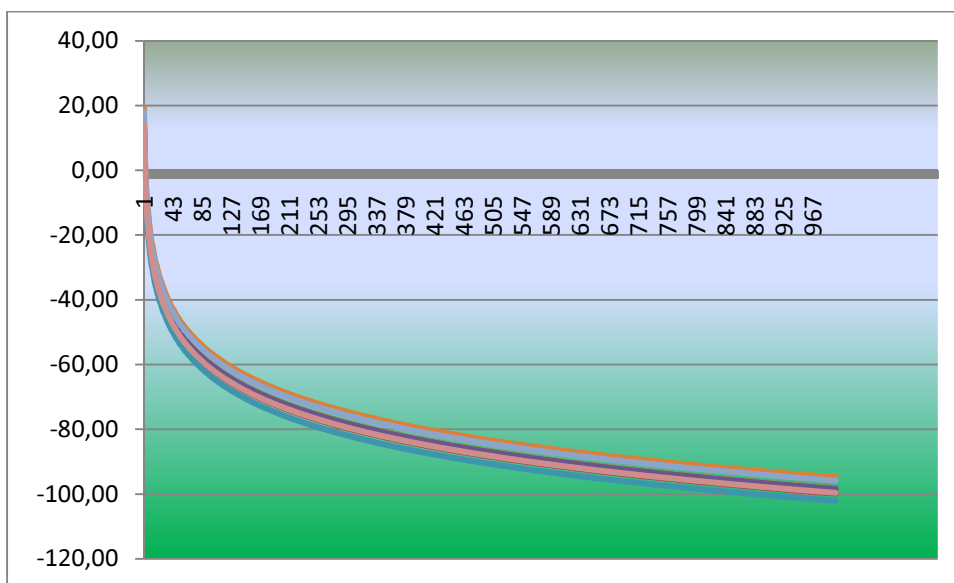


Figura 5.89 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35



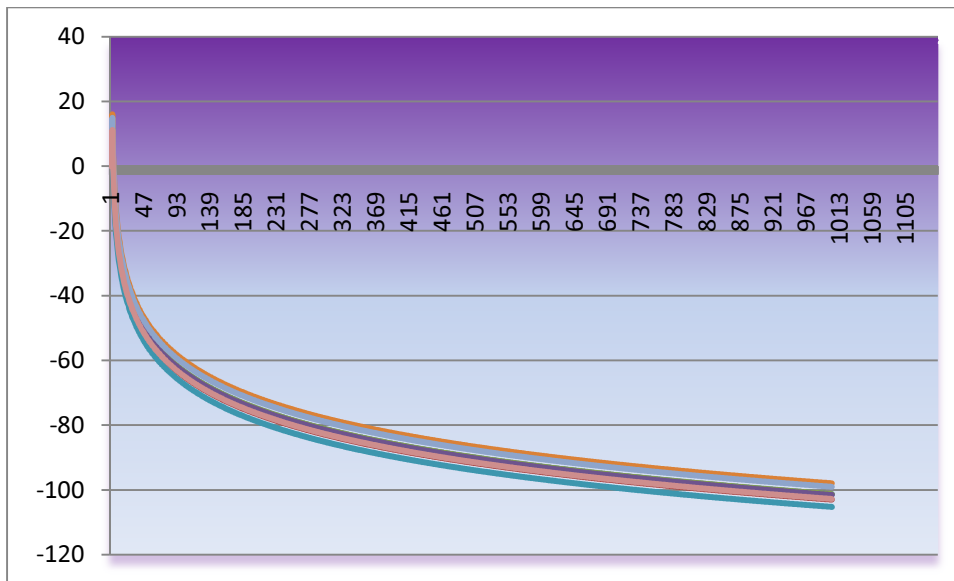


Figura 5.90 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

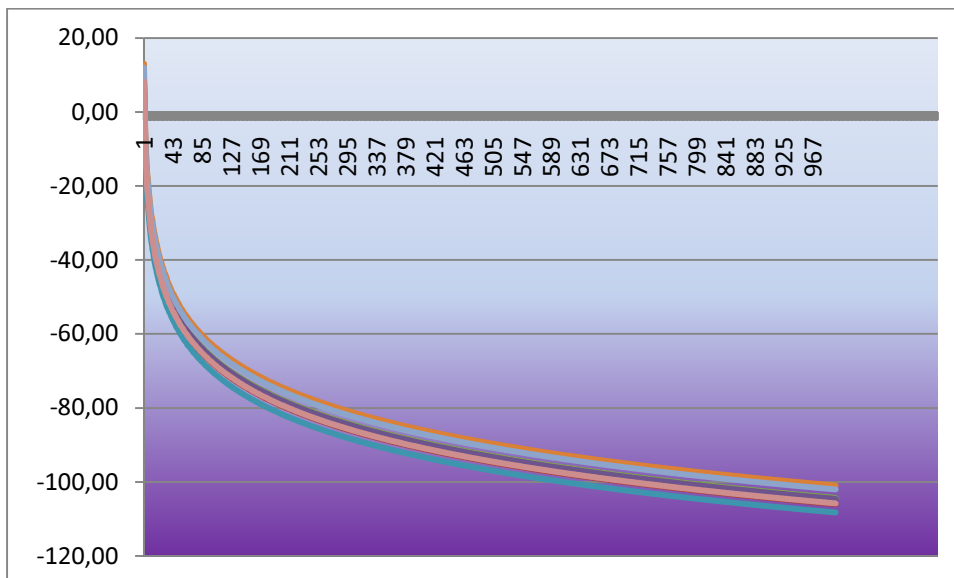


Figura 5.91 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55



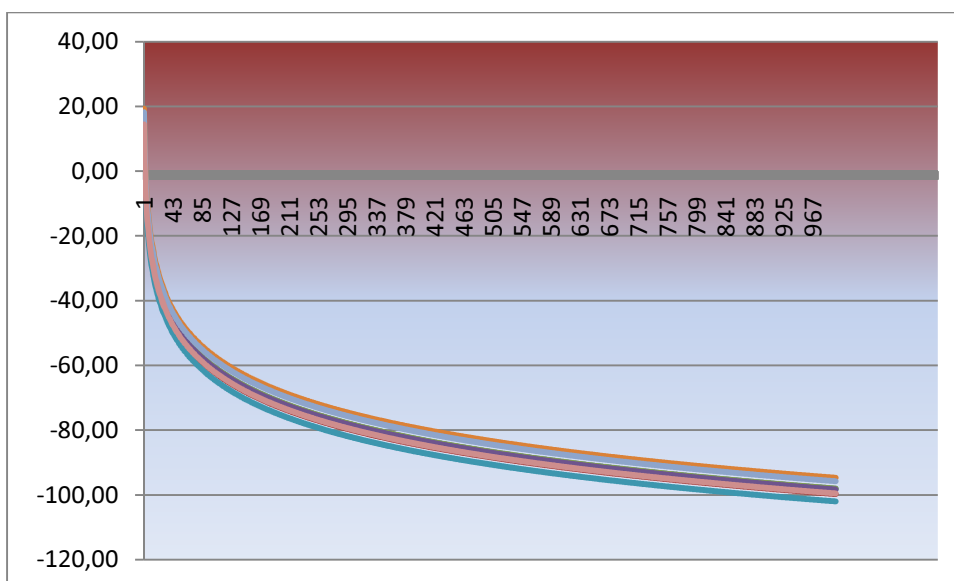


Figura 5.92 Potencia recibida en el MS para Lori>55

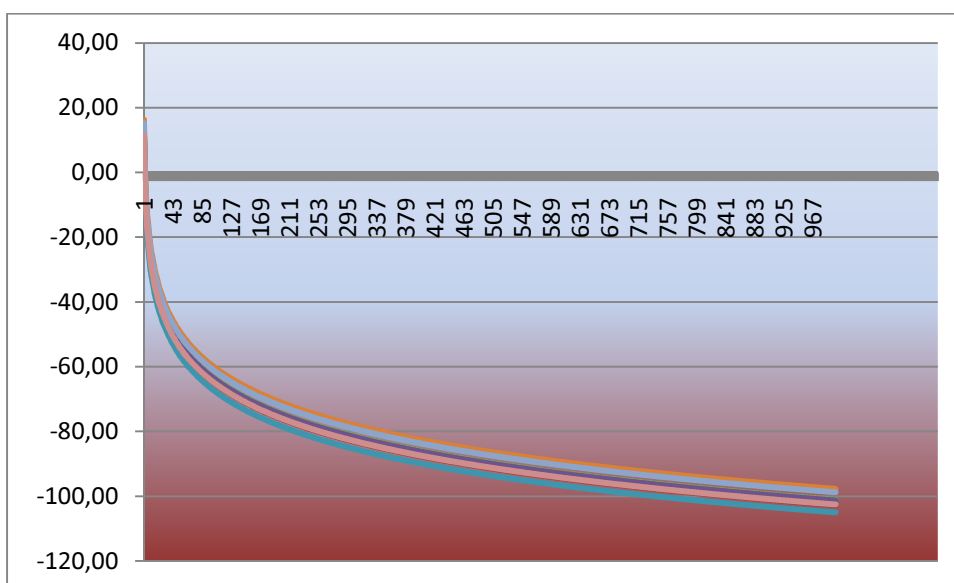


Figura 5.93 Potencia recibida en el BTS para Lori>55

Como se puede observar los resultados para GSM son bastante buenos y eso se debe a que la distancia de cable es pequeña y no hay elementos auxiliares de radio frecuencia.



DCS:

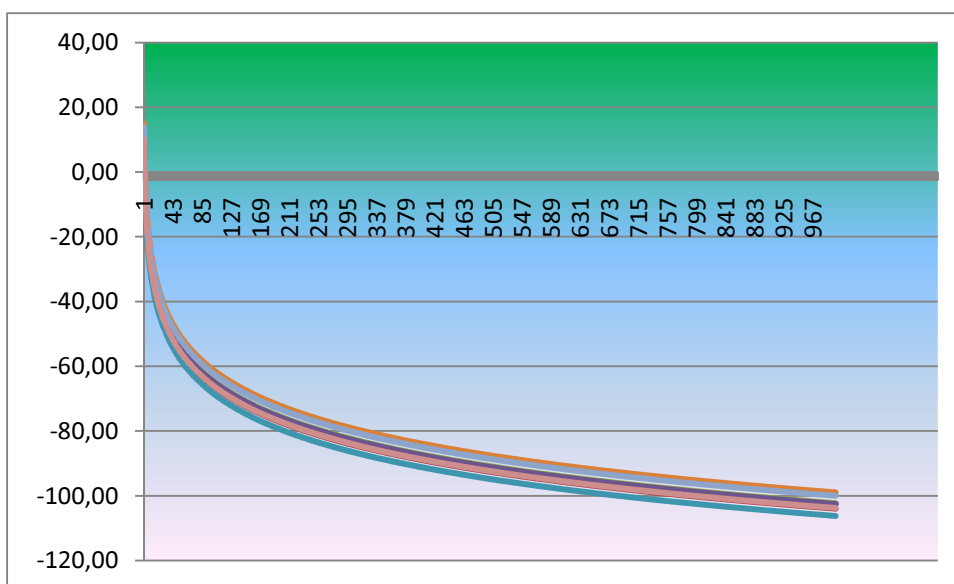


Figura 5.94 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35

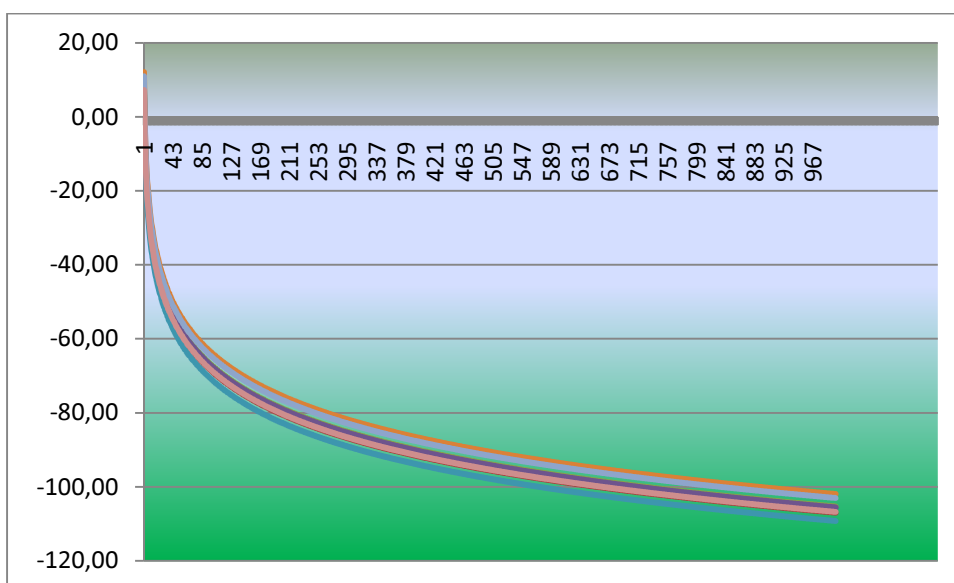


Figura 5.95 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

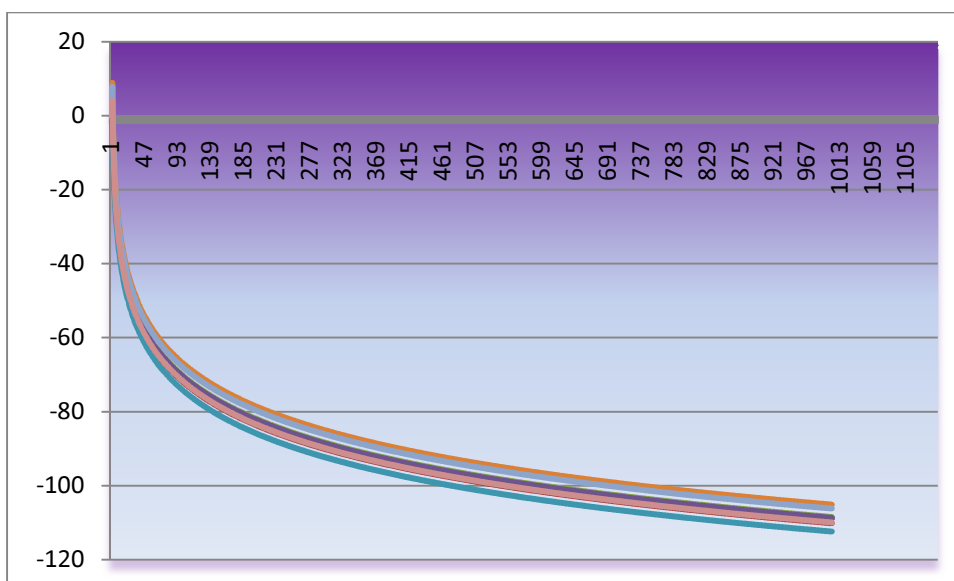


Figura 5.96 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

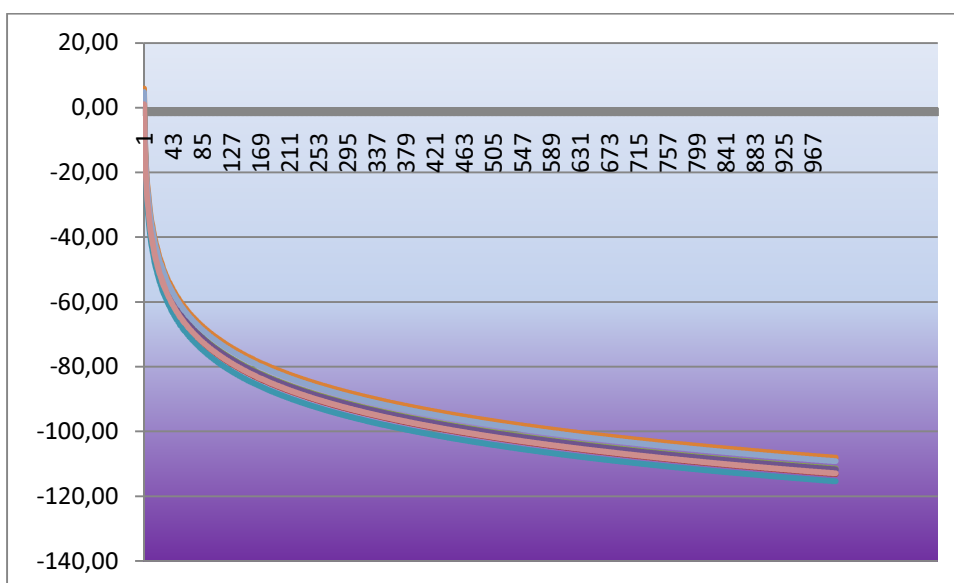


Figura 5.97 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

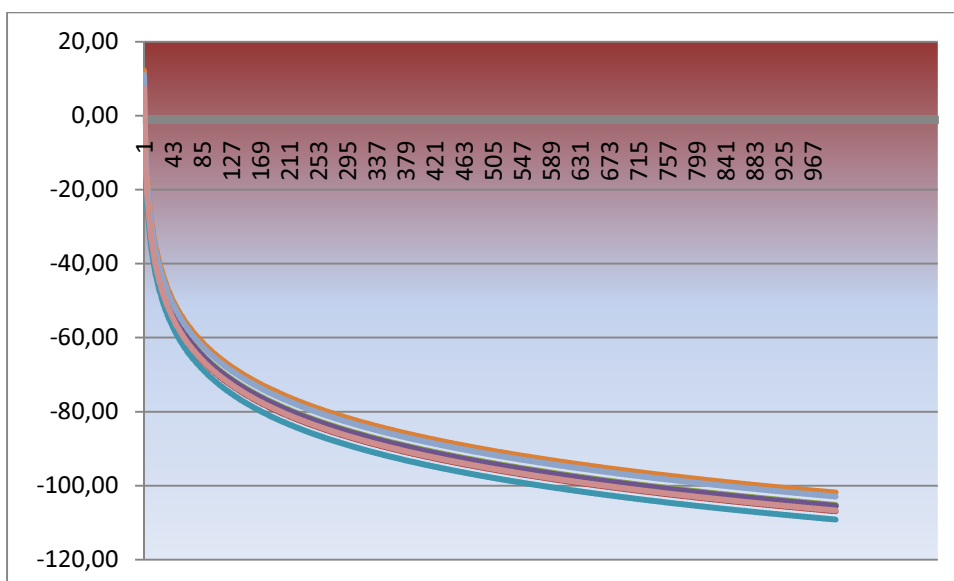


Figura 5.98 Potencia recibida en el MS para Lori>55

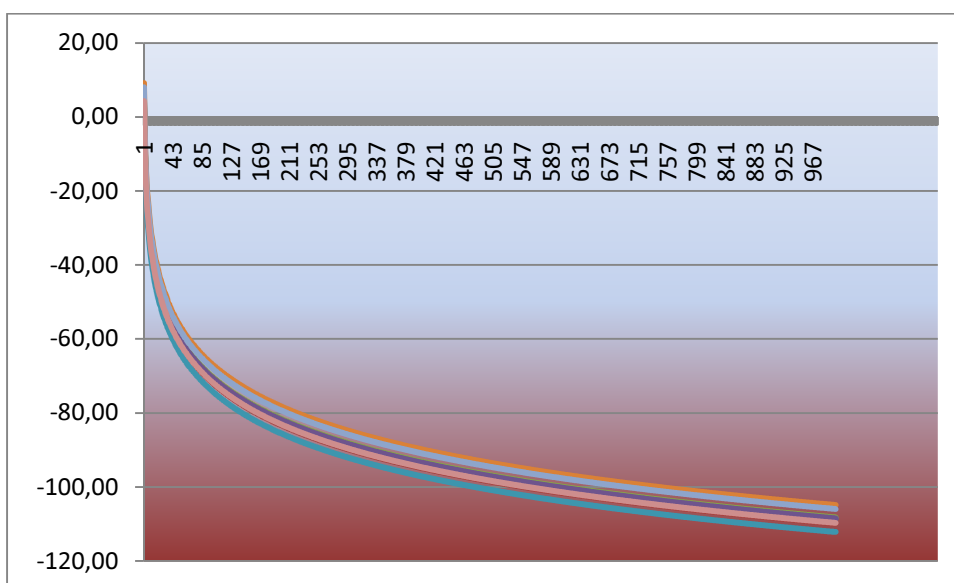


Figura 5.99 Potencia recibida en el BTS para Lori>55

Se ve como la cobertura aquí empeora y eso es debido a que se ha tenido que diplexar la señal de DCS y UMTS, las antenas solo poseen una boca para esas frecuencias, en las siguientes graficas se ve cómo pasa lo mismo para UMTS.



UMTS:

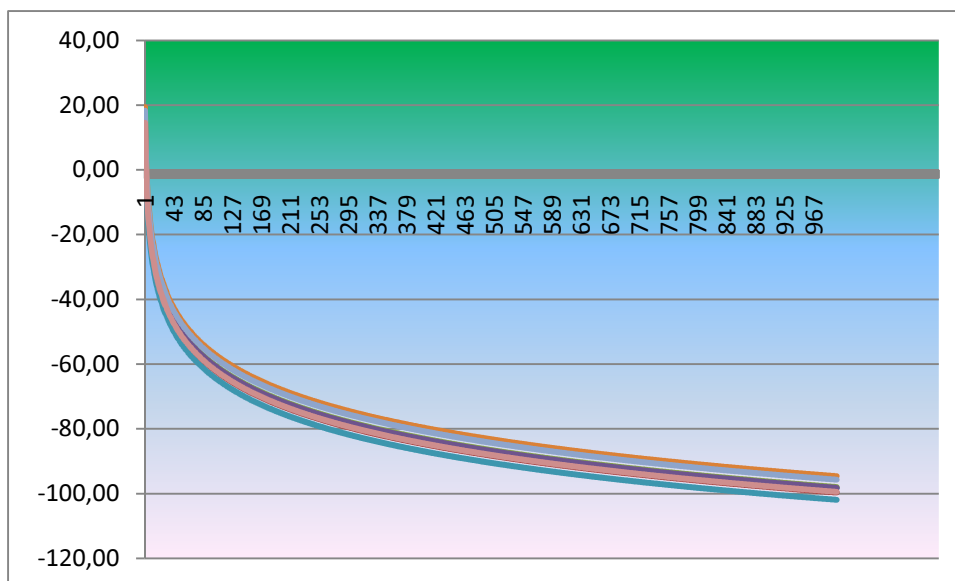


Figura 5.100 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35

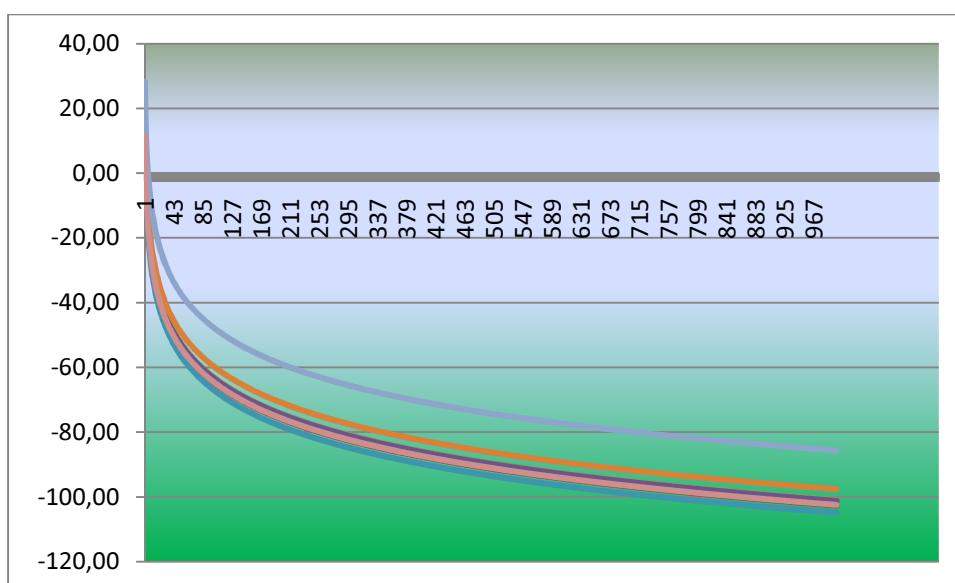


Figura 5.101 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35



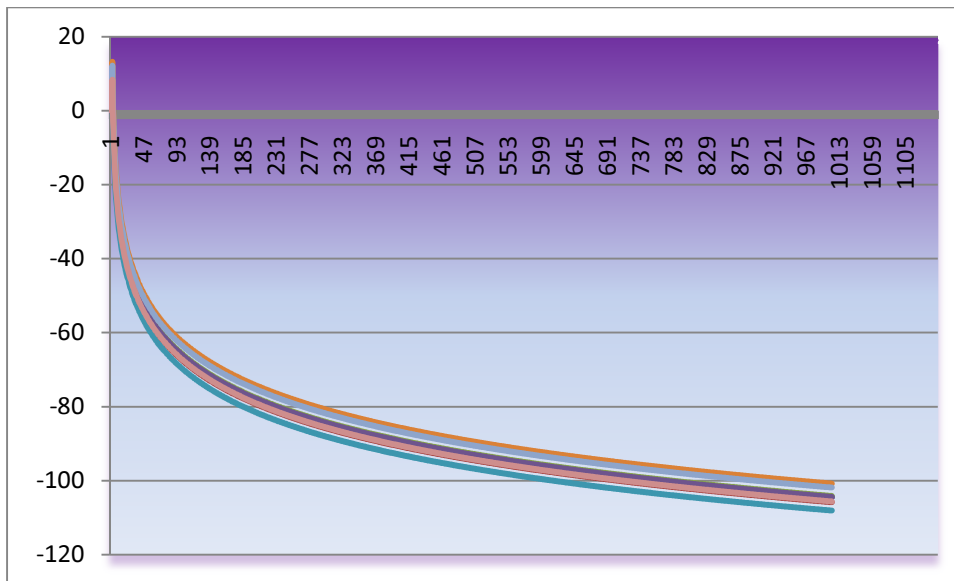


Figura 5.102 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

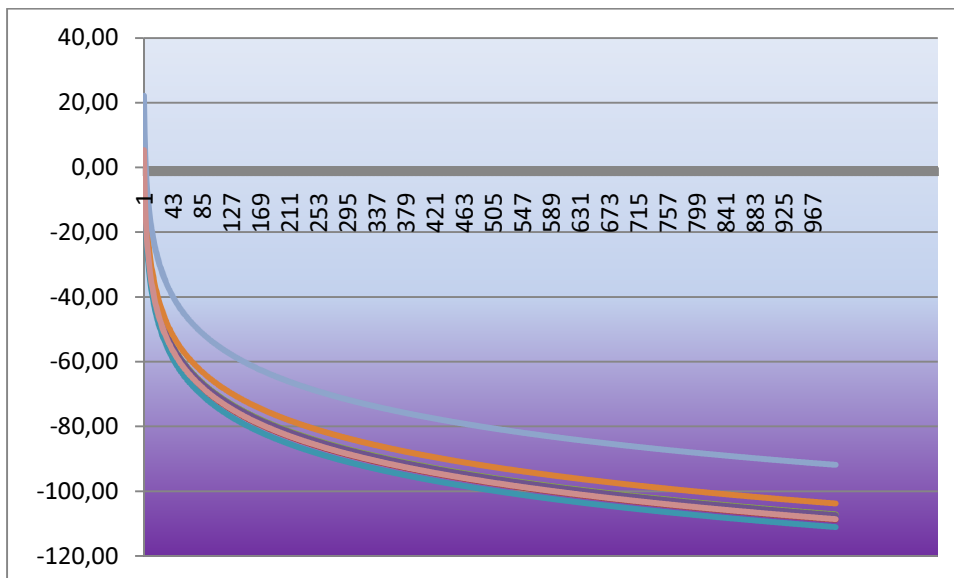


Figura 5.103 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55

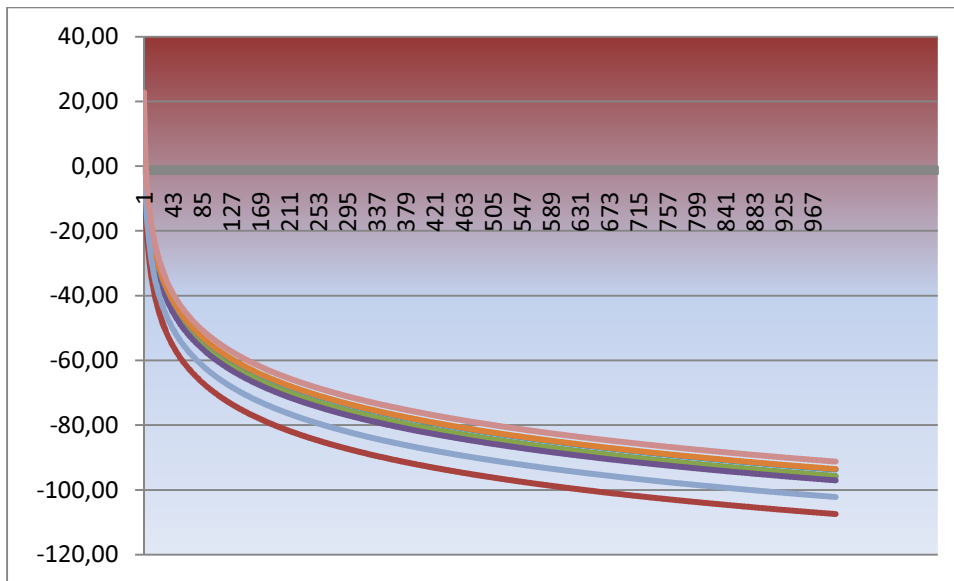


Figura 5.104 Potencia recibida en el MS para Lori>55

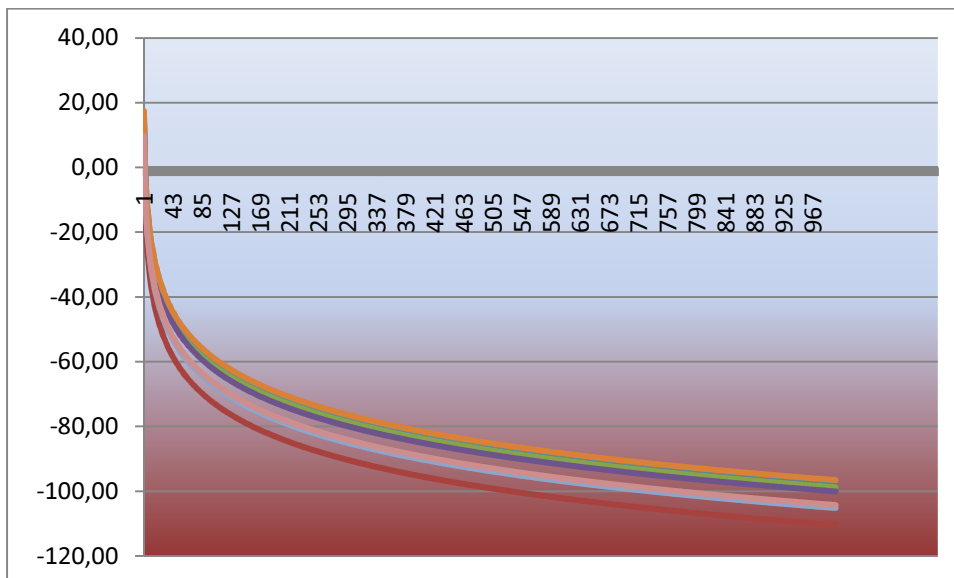


Figura 5.105 Potencia recibida en el BTS para Lori>55



5.6. TUDELA

La estación se encuentra en la C/Tudela y nos encontramos con una estación en una azotea [Figura 5.106], la azotea tiene una gran superficie, así que se ha podido colocar una caseta de hormigón EB-5 (tamaño 2,5m*2m). El soporte de las antenas [Figura 5.107] esta a una distancia de diez metros aproximadamente. En la caseta nos encontramos con dos equipos Nokia Ultrasite para dotar de cobertura DCS y GSM, además nos encontramos con un Ericsson 3202 para UMTS. Las antenas son K-742271, con seis bocas, una para cada tecnología. Esta es una de las mejores tipologías ya que nos permite una tirada de cable pequeña, una sala modelo para los equipos y nos evita la necesidad de diplexar tecnologías.

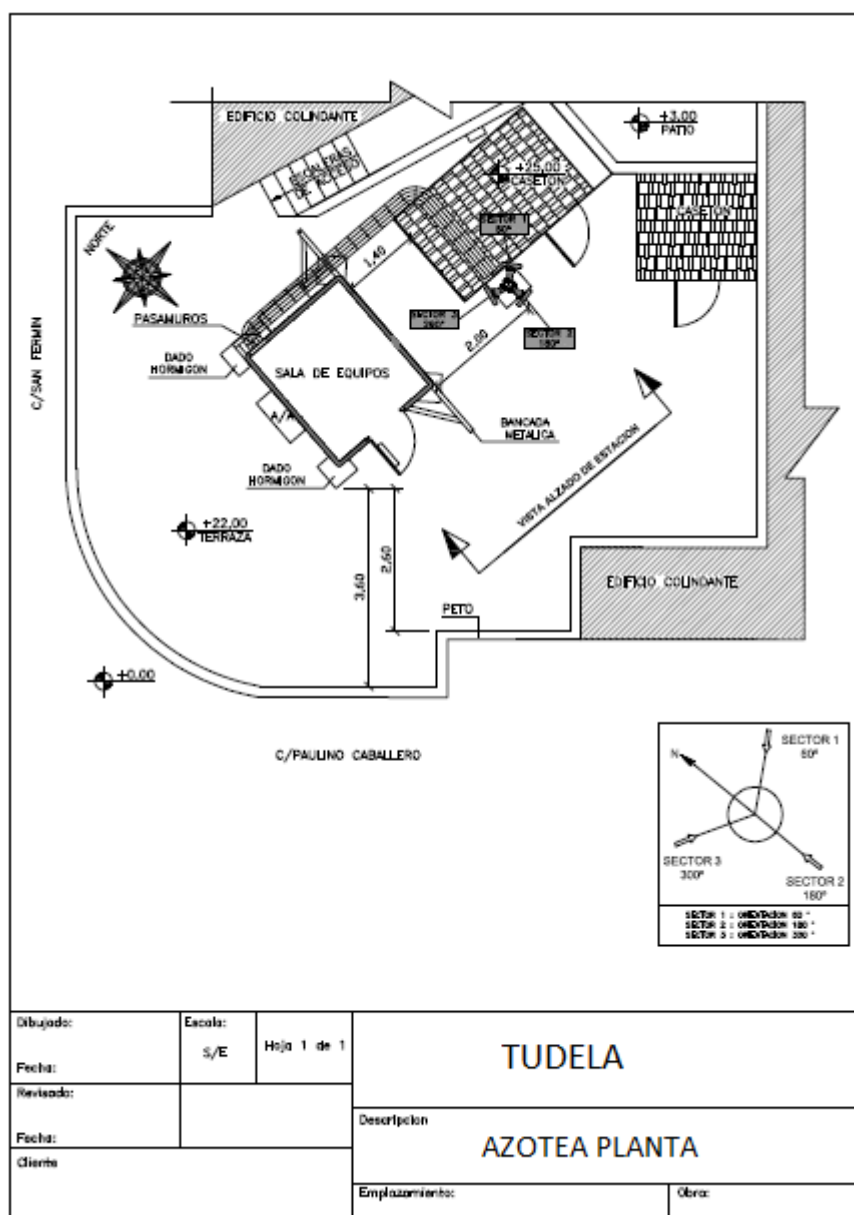


Figura 5.106 Plano planta azotea Tudela



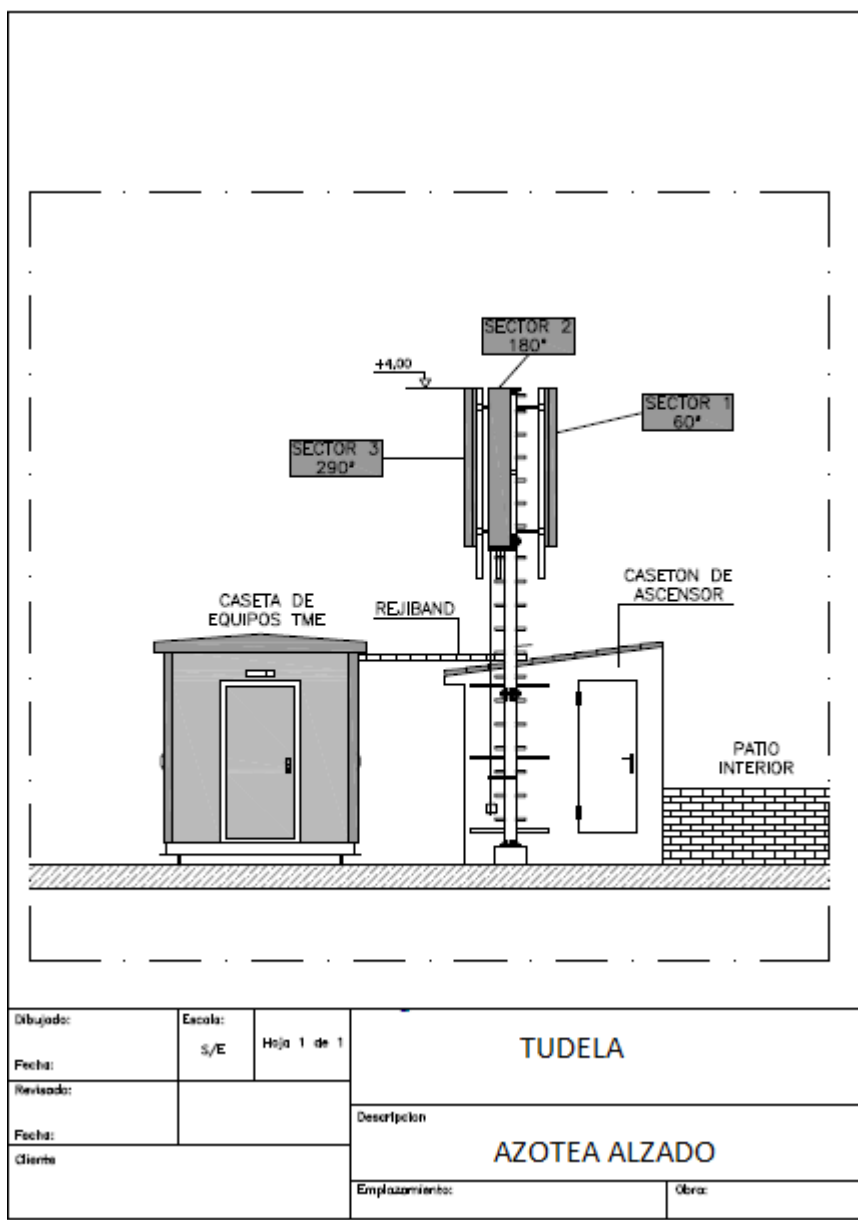


Figura 5.107 Plano alzado azotea Tudela

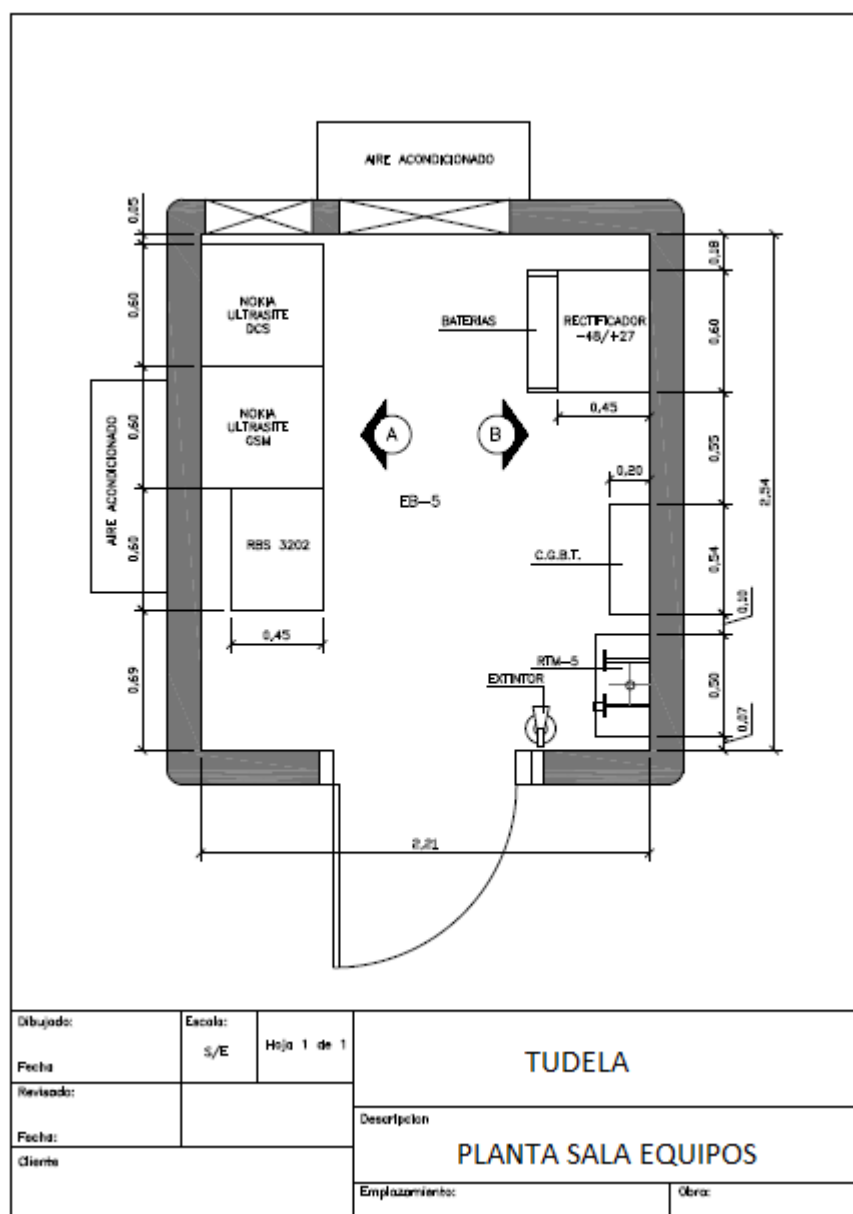


Figura 5.108 Plano planta sala de equipos Tudela

Aquí se muestra en detalle la caseta [Figura 5.108] donde se encuentran los equipos. Se trata de una caseta tipo de nuestra operadora. Es una sala de equipos estándar, donde todo está pensado para optimizar el espacio, como característica cuenta con aire acondicionado específico para el número de equipos que puede llegar a albergar y baterías que suplirán la falta de corriente durante un periodo de tiempo concreto.



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

El esquema de radio frecuencia [Figura 5.109] que se muestra solo representa una tirada de cable para que quede más claro, en principio tendríamos dos tiradas de cable por cada tecnología y antena:

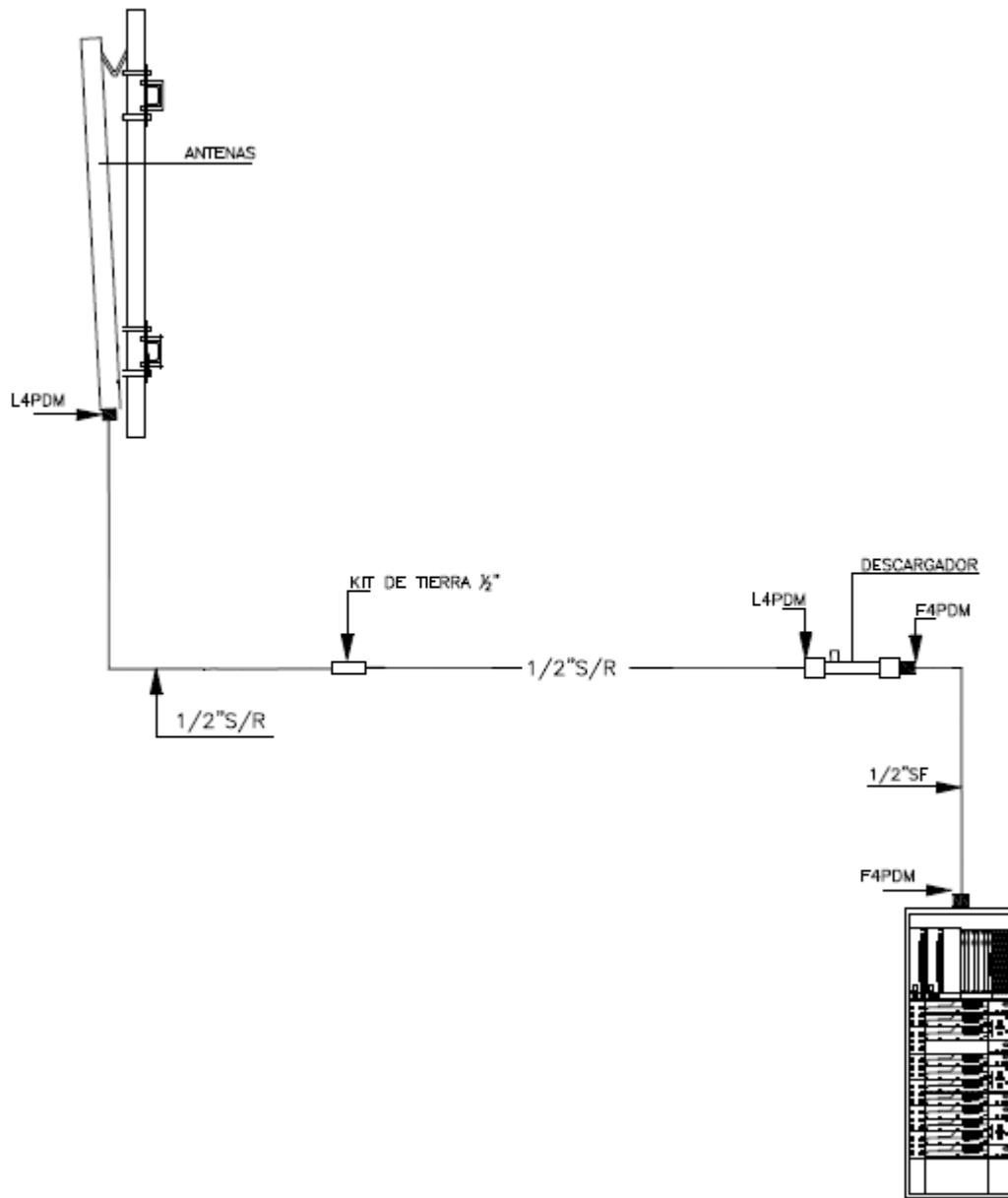


Figura 5.109 Esquema radiofrecuencia



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Las pérdidas en el recorrido de la señal hasta las antenas [Tabla 5.9] son las siguientes:

	Perdidas conectores (dB)		Perdidas cable (dB)		Perdidas elementos auxiliares (dB)	TOTAL (dB)
	CONECTORES	DESCARGADORES	1/2	7/8		
UMTS	0.8	0.1	1.03	Np	0	2.32
DCS	0.8	0.1	1.03	Np	3+3	8.23
GSM	0.8	0.1	1.03	Np	3+3	8.23

Tabla 5.9 Tabla pérdidas Tudela

Con lo que se obtiene unas características propias de la estación [Tabla 5.10] para cada tecnología:

	GSM	DCS	UMTS
Potencia BTS	43,01	43,01	33,01
Potencia MS	30,00	30,00	30,00
Gantena BTS	14,15	14,15	14,15
Gantena MS	1	1	1
Lcable BTS	8,23	8,23	2,32

Tabla 5.10 Tabla características propias de la estación Tudela



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

Teniendo todos estos datos ya se pueden obtener los resultados para las potencias recibidas tanto en la BTS como en el MS, en GSM:

[De la figura 5.110 a la figura 5.127]

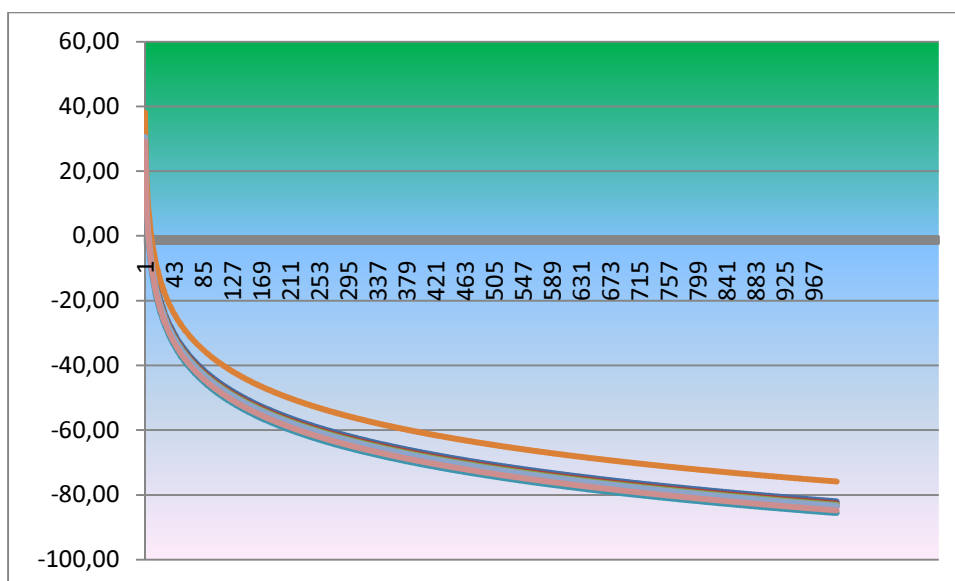


Figura 5.110 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35

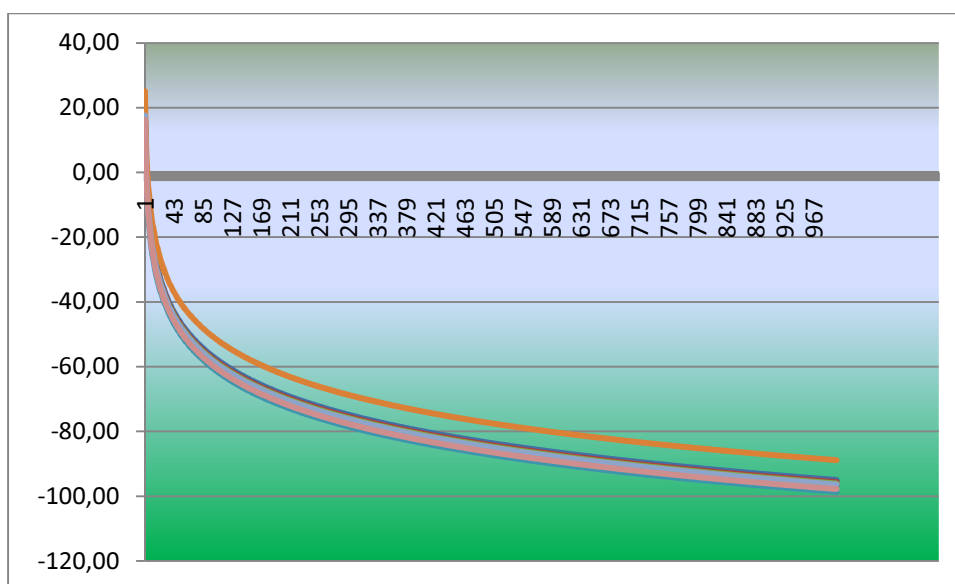


Figura 5.111 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35



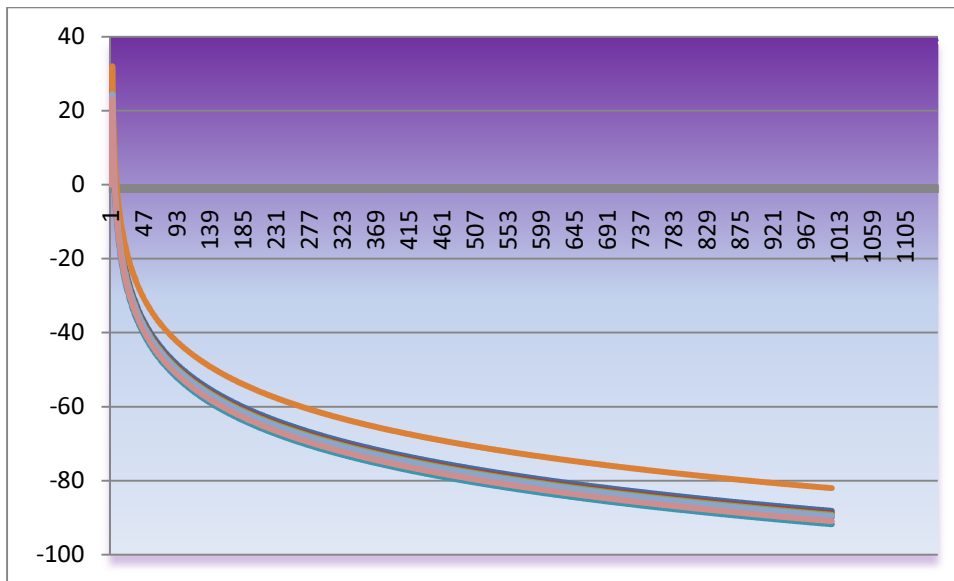


Figura 5.112 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

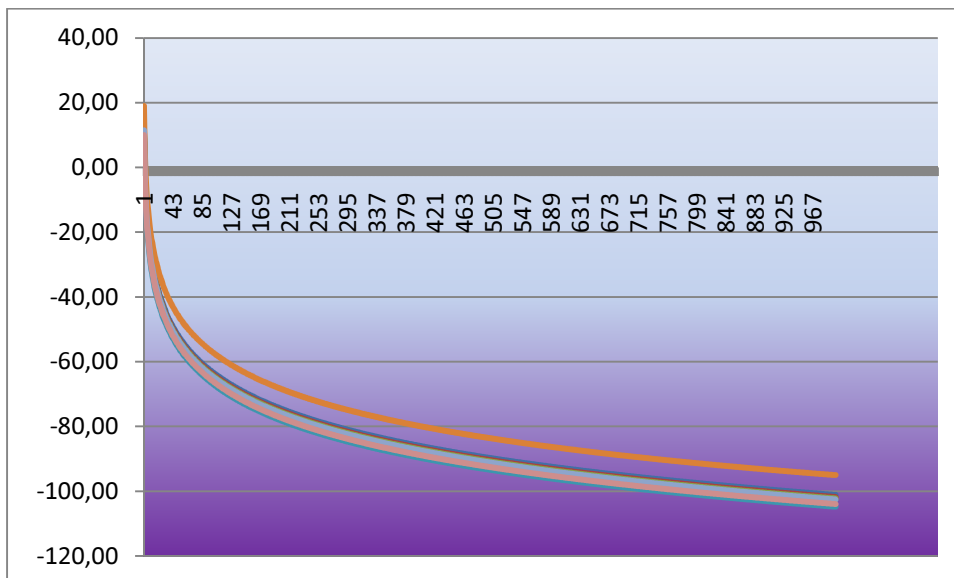


Figura 5.113 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55



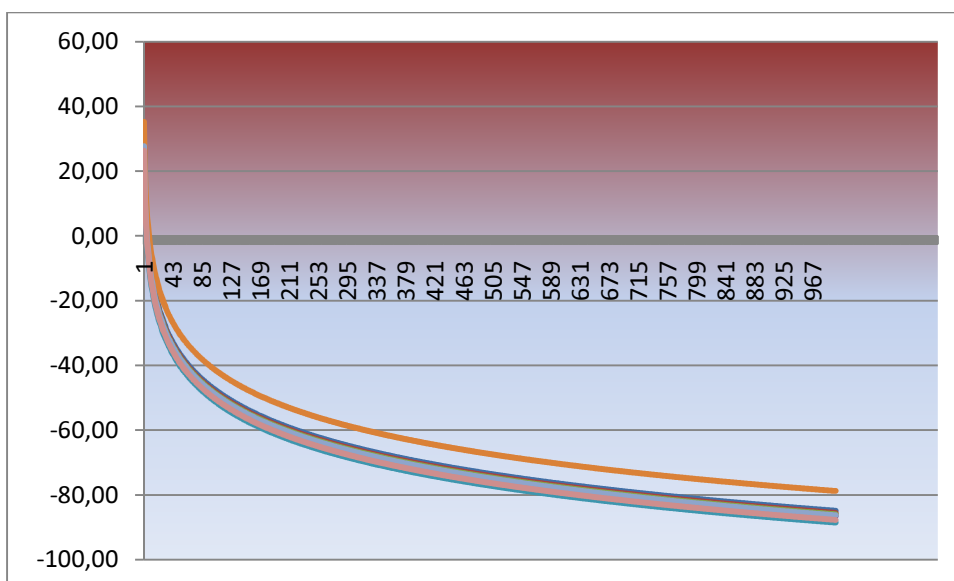


Figura 5.114 Potencia recibida en el MS para Lori>55

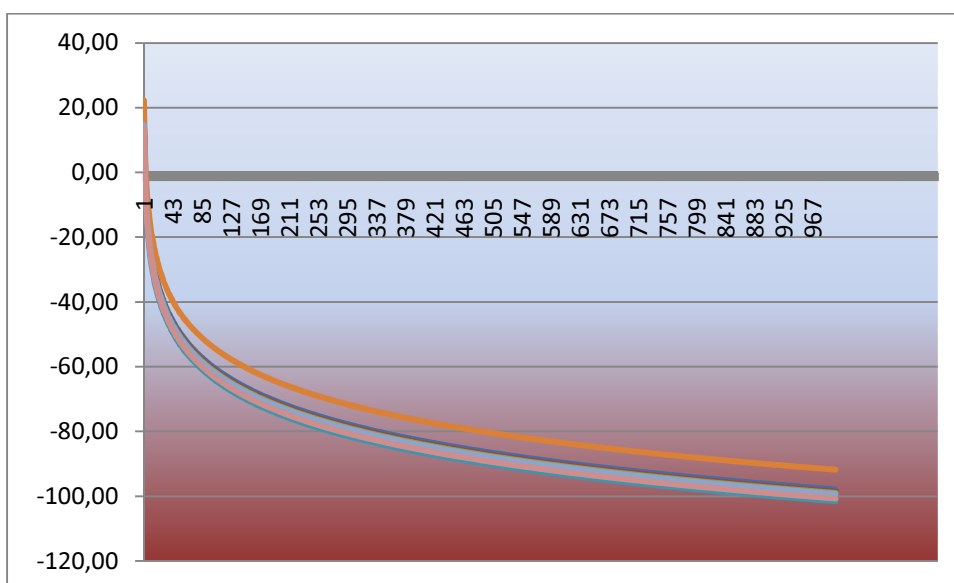


Figura 5.115 Potencia recibida en el BTS para Lori>55

DCS:

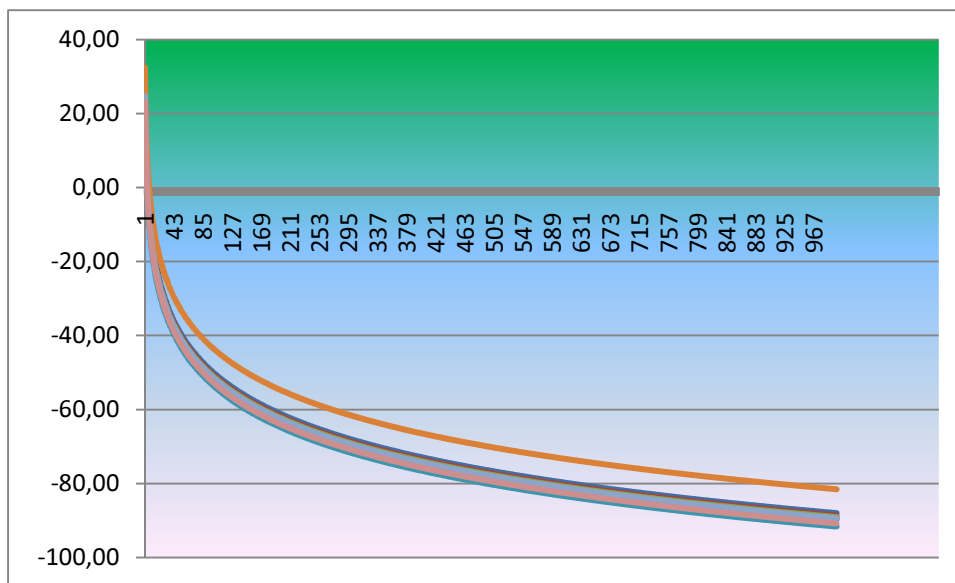


Figura 5.116 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35

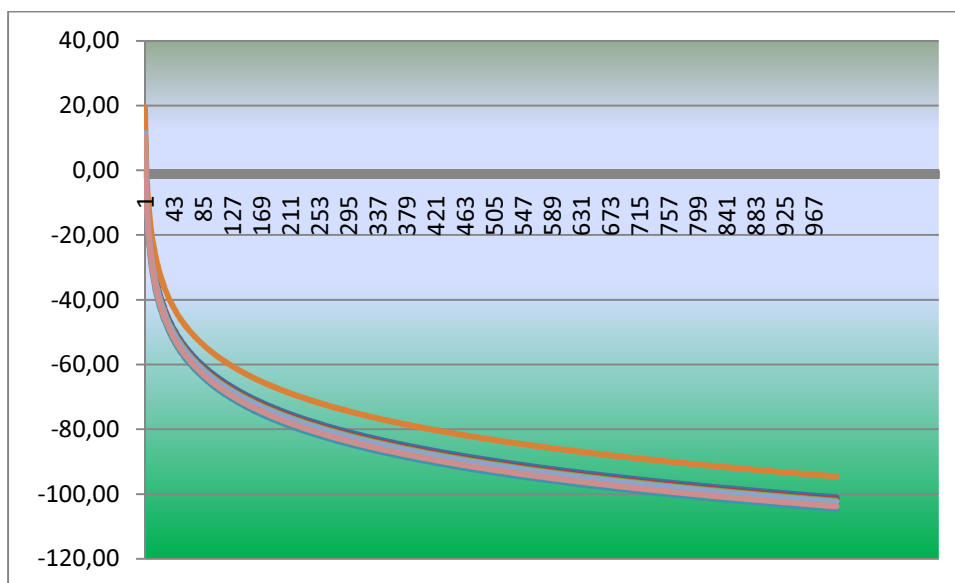


Figura 5.117 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35



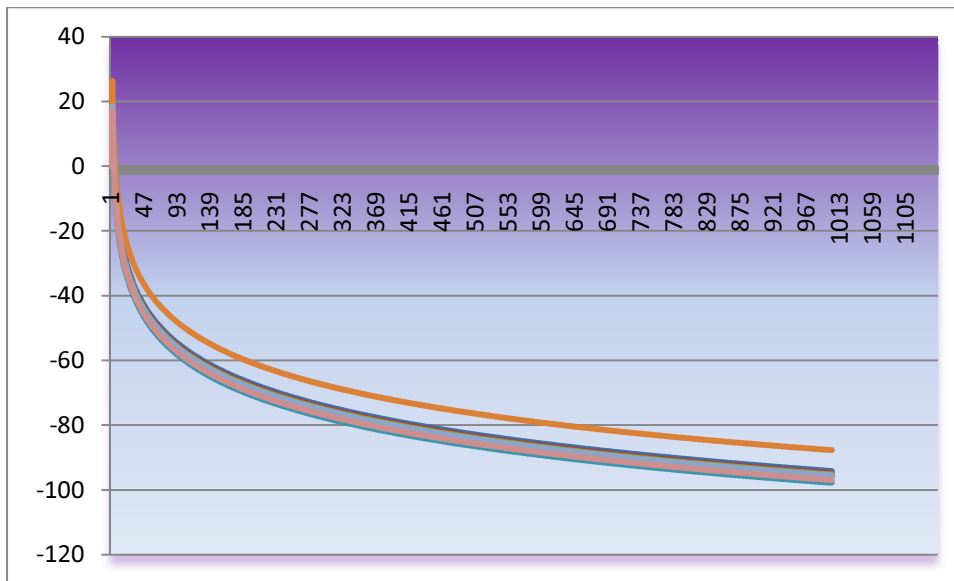


Figura 5.118 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

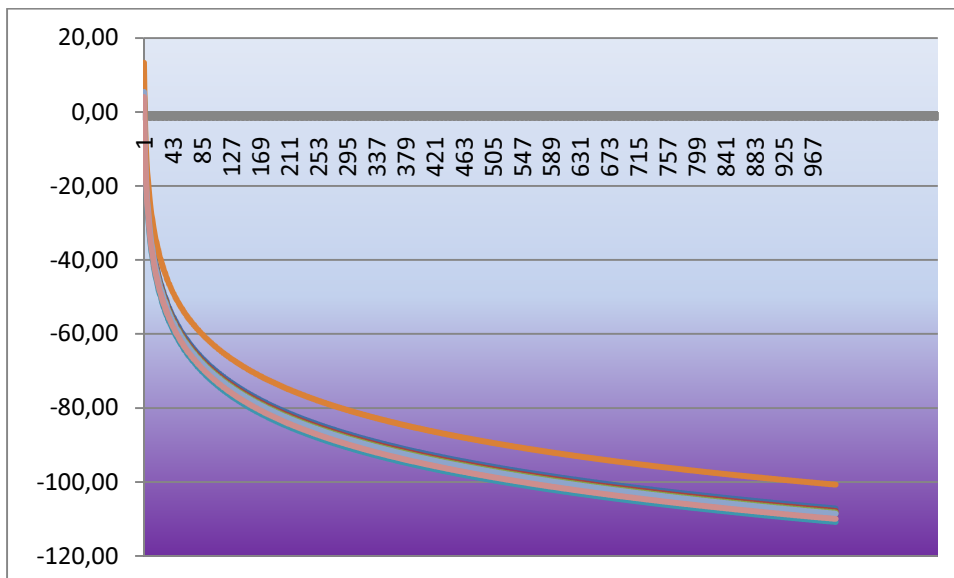


Figura 5.119 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55



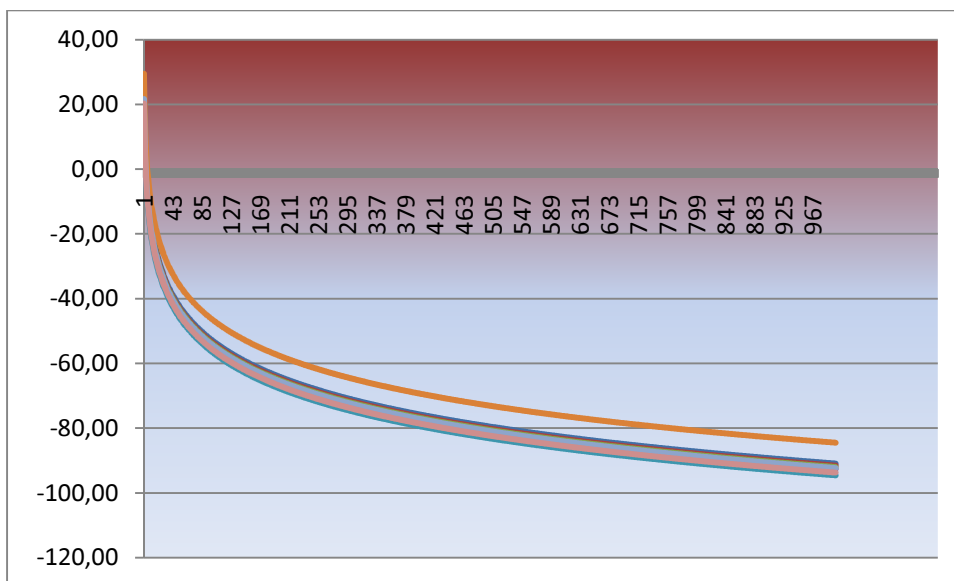


Figura 5.120 Potencia recibida en el MS para Lori>55

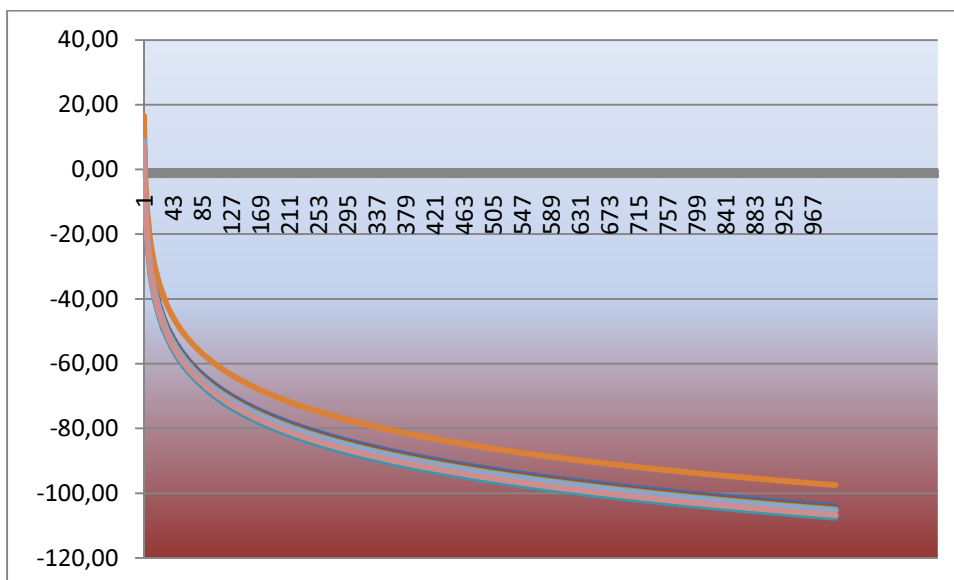


Figura 5.121 Potencia recibida en el BTS para Lori>55

ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

UMTS:

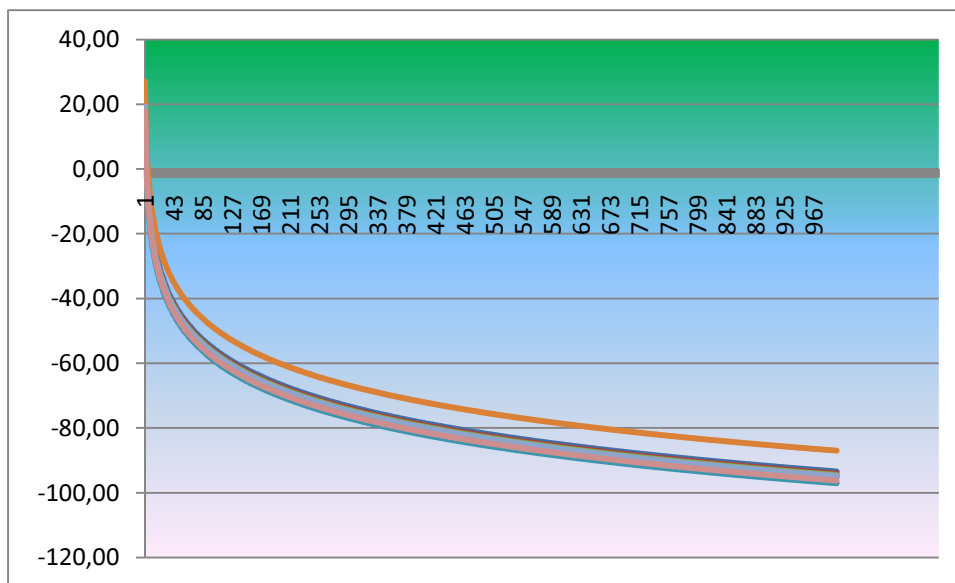


Figura 5.122 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35

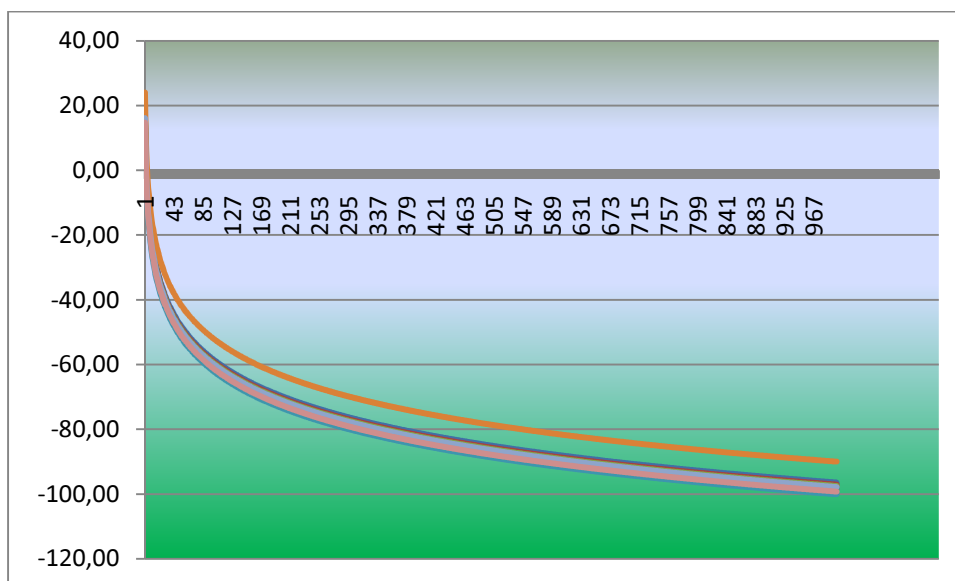


Figura 5.123 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35



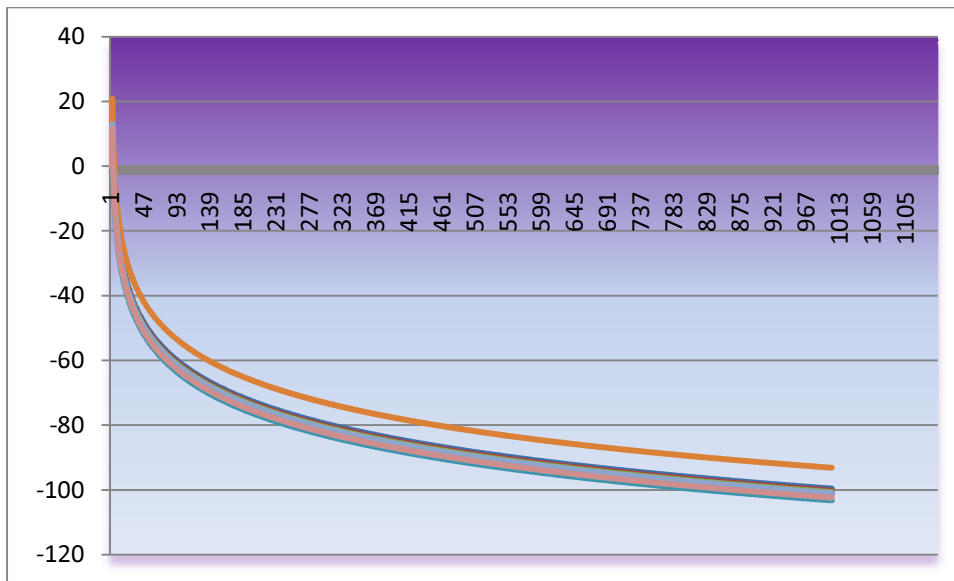


Figura 5.124 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

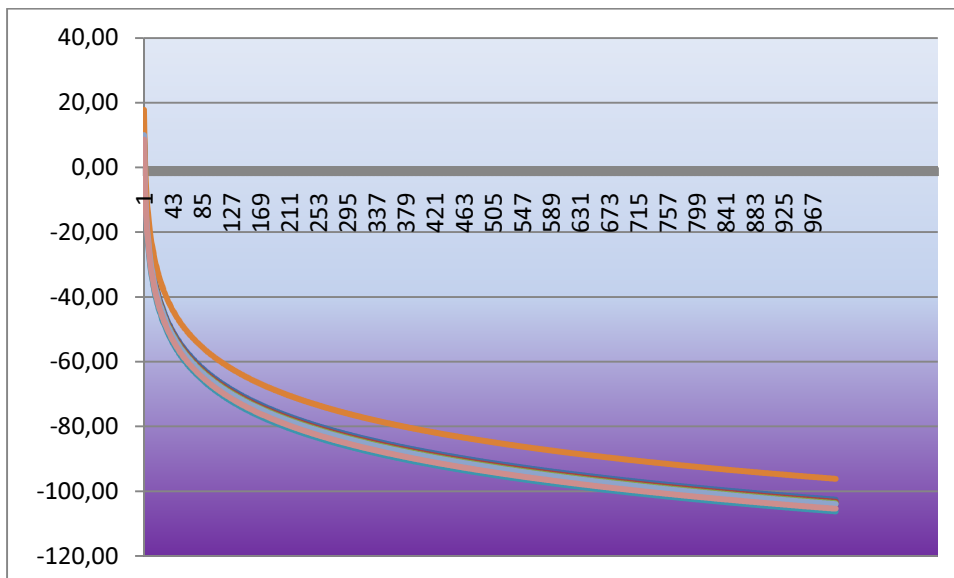


Figura 5.125 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55



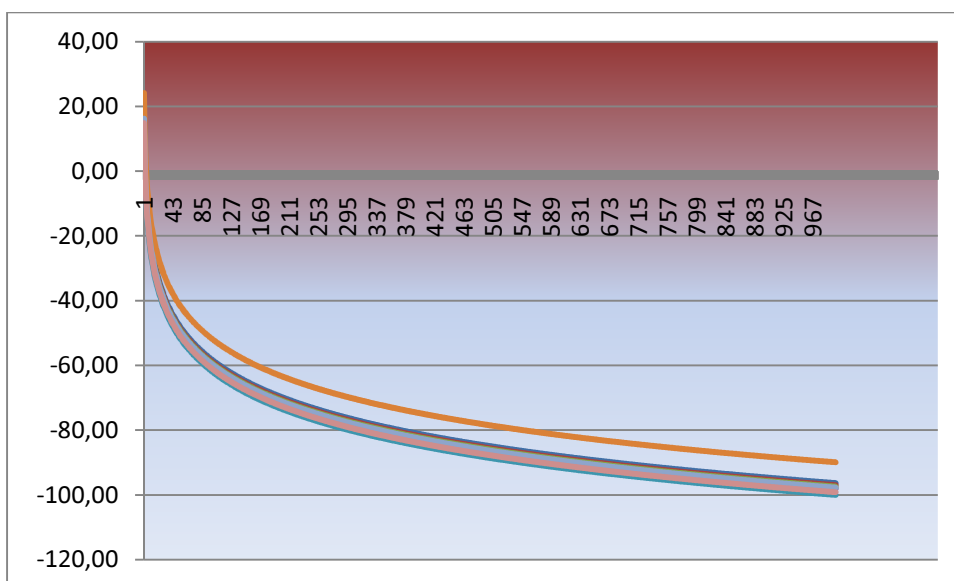


Figura 5.126 Potencia recibida en el MS para Lori>55

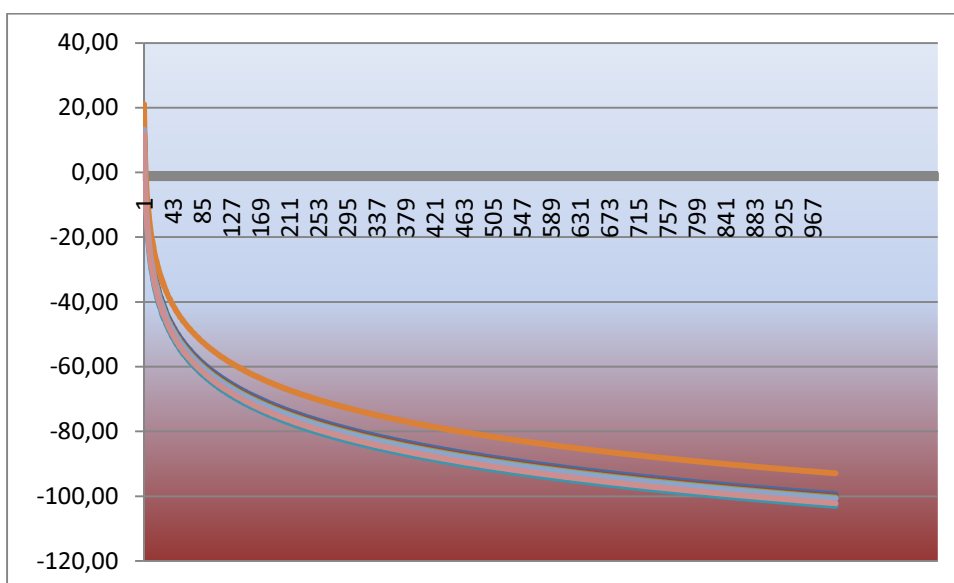


Figura 5.127 Potencia recibida en el BTS para Lori>55

Los niveles de cobertura son muy buenos y el diseño de esta estación es prácticamente inmejorable.



6. TOMA DE DECISIONES.

Son muchos los factores que influyen en el diseño de las estaciones base. Tal y como se ha podido observar muchas veces no depende de la operadora. Ahora veremos cómo se podrían mejorar los niveles de cobertura de las EB.

6.1. MEJORAS EN PAULINO CABALLERO

Lo primero que se ve es que es imposible reducir los metros de cable a utilizar, no se dispone de otra ubicación y en la azotea no entra ningún equipo. Para el umts ya se han utilizado fibras ópticas que dan las menores pérdidas posibles. Para el GSM y DCS no hay en el mercado un equipo que utilice fibra óptica. En el DCS lo que se podría hacer es no compartir con el otro operador, pero no se puede echar al otro operador de nuestra estación. Así que a la vista está que, solo se pueden cambiar las antenas para intentar mejorar la cobertura. Se podrían instalar unas antenas modelo PTD3-800TV de Rymsa que tienen 8 bocas para UMTS/DCS y dos bocas para GSM. Es decir podríamos contar con cuatro entradas de UMTS/DCS y una de GSM. Esta opción no es factible ya que aunque supondría no diplexar la señal y aumentar ganancia, el soporte de las antenas en esta estación no soportaría tres antenas de este tamaño, casi tres metros de altura y un peso de 50 Kg, así que lo mejor que podemos hacer es buscar unas antenas que tengan más ganancia y no sean más grandes. Pasamos de tener unas TTD3-400TV a unas TTD3-600TV. De esta manera pasamos de tener una ganancia media de 14 dBi a 17 dBi y con unas antenas de tamaño asumible, dos metros de alto y 29 Kg. Se cambian los valores en las hojas Excel, y esto permite ver lo que mejora la cobertura.

Se empieza por el DCS, la tecnología más problemática, al aumentar la potencia de la antena, solo hemos conseguido aumentar en seis metros el radio de cobertura. Cuando el nivel de cobertura supera los 100dB ya no se va a poder tener una conversación con una buena calidad, y es aquí cuando se puede decir que se tiene mala cobertura. Se busca en las tablas en qué punto nuestra cobertura es mala y se obtiene un punto a 574 metros en la radial de 45° (se ha buscado el peor de los casos) y cuando se cambian las antenas, este punto se traslada a 580 metros, con lo que no se ha ganado mucho.



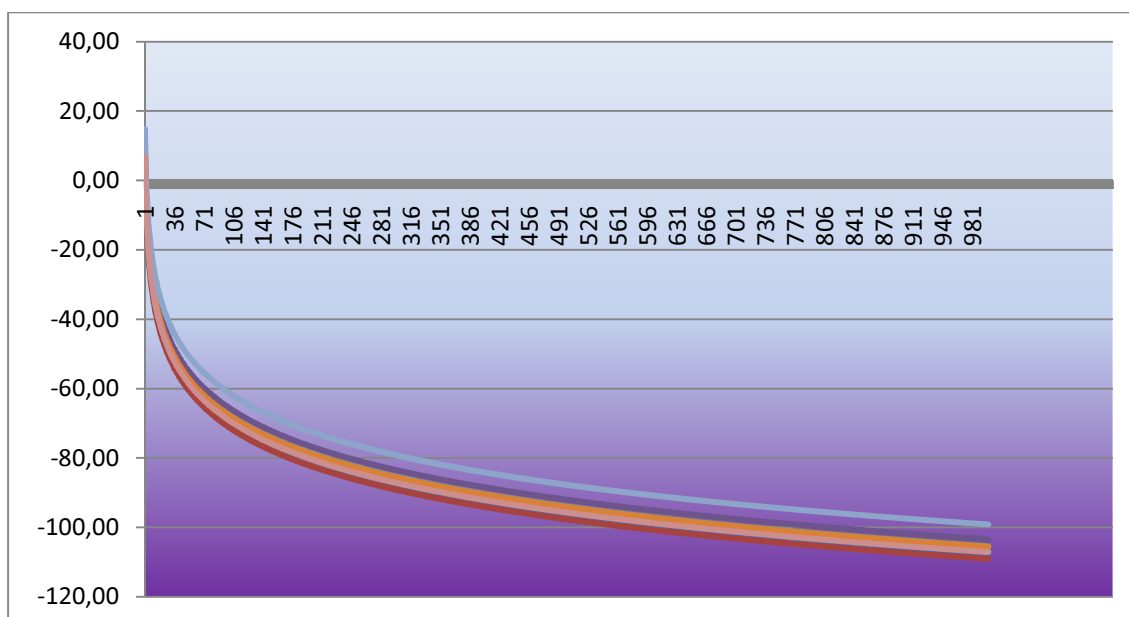


Figura 6.1 Potencia recibida en la BTS para Lori 35,55 para la radial de 45°

6.2. CORTES

En esta estación se han obtenido muy malos resultados y esto es debido a que se ha tenido que diplexar la señal en varias ocasiones. Se tiene una antena Ryma TTD3-800TV con dos bocas para DCS y UMTS, y una para GSM. Los demás operadores necesitan cobertura UMTS. Así que la única tecnología que no tiene que diplexar es la de GSM, aunque el equipo está en la primera planta y esto proporciona una tirada muy larga de cable. Una buena solución para aumentar el radio de cobertura sería la colocación de nuevas antenas para el resto de operadores y que nuestro operador sea el único usuario de estas antenas. De esta manera se evitarían pérdidas por valor de seis dB por tecnología. En los siguientes gráficos se puede ver cómo ha aumentado el radio de cobertura en cuanto se han puesto antenas nuevas [Figura 6.2, Figura 6.3]. En principio, no habría problemas estructurales para colocar nuevas antenas ya que se trata de una torre y estas, están pensadas para poder colocar más de una altura de antenas. Entiendo que para los otros operadores este no sería un mal cambio, porque, aunque sus antenas irían colocadas a una altura de tres metros por debajo de las nuestras también evitarían pérdidas importantes.



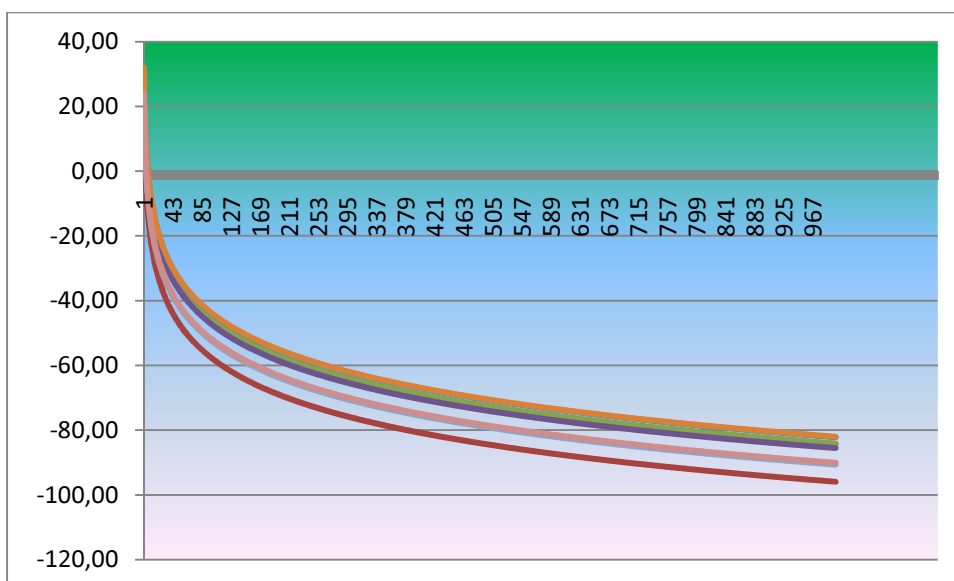


Figura 6.2 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35

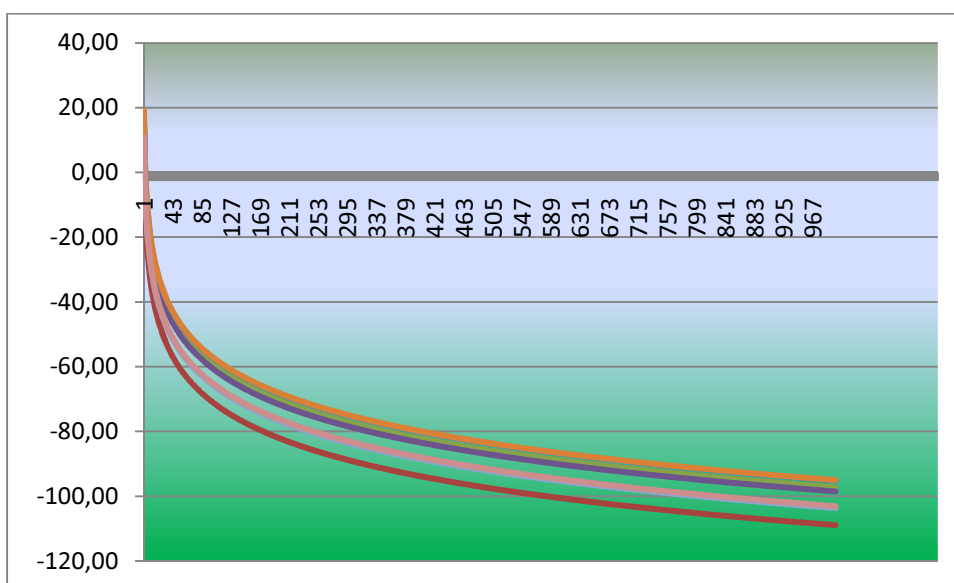


Figura 6.3 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35

Para las mismas graficas con la tipología original la peor línea cruzaba los 100 dB en 337 metros y ahora a los 547 metros aproximadamente [Figura 4.x, Figura 4.x]. Se puede decir que hemos realizado un buen cambio.



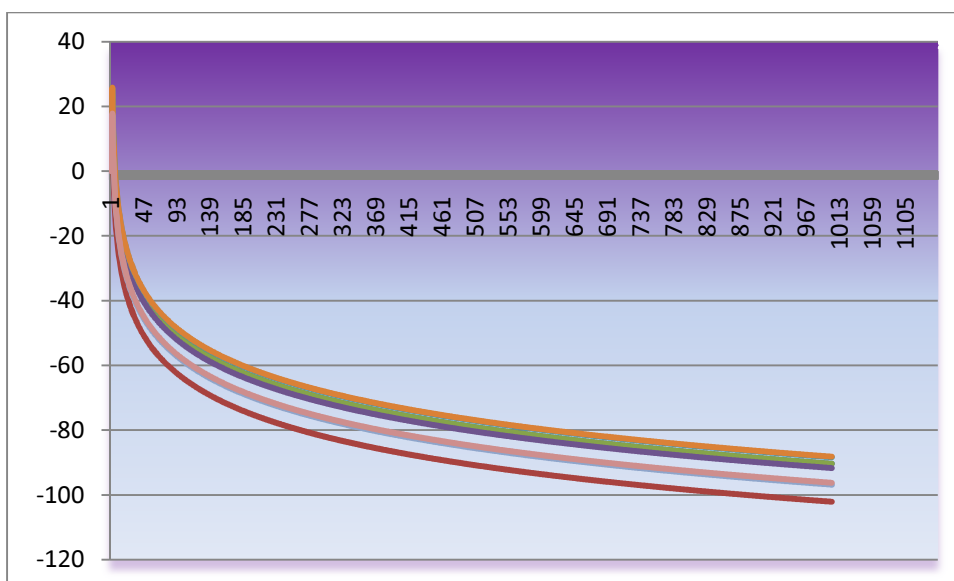


Figura 6.4 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

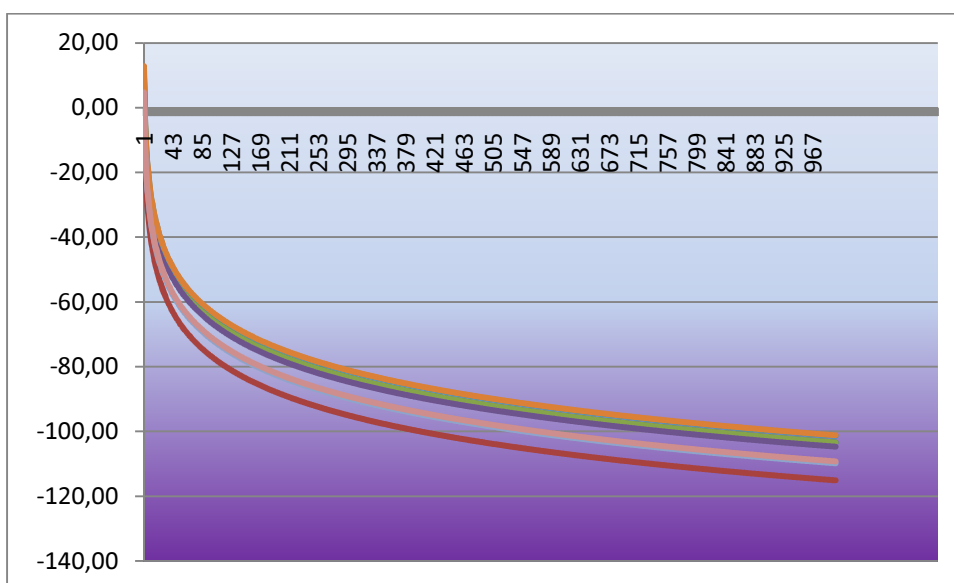


Figura 6.5 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55

Lo mismo ocurre si nos fijamos en estas graficas sin la mejora. Hay que tener en cuenta que estamos estudiando el peor de los casos, que era el de DCS [Figura 4.x, Figura 4.x], el cual se diplexaba varias veces, y ahora ninguna.



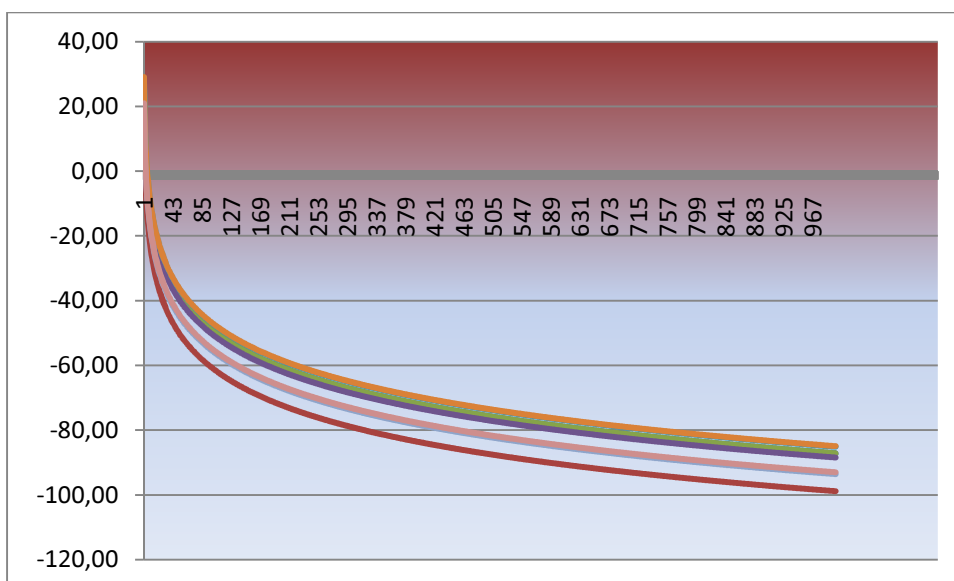


Figura 6.6 Potencia recibida en el MS para Lori>55

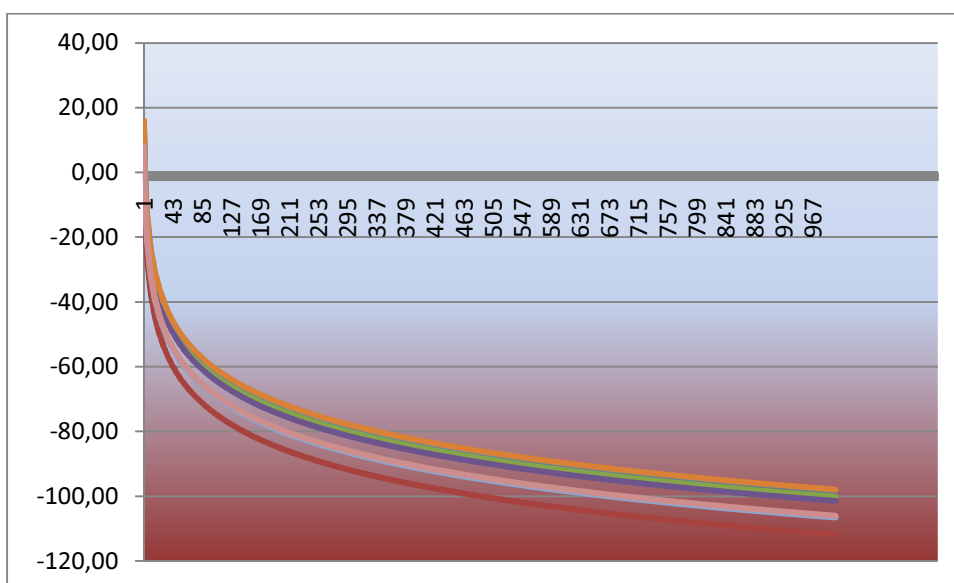


Figura 6.7 Potencia recibida en el BTS para Lori>55

Podemos observar como los niveles han mejorado de forma sustancial para DCS.



6.3. CASINO

En esta estación poco podremos hacer si los dueños del edificio no nos dejan cambiar esas antenas de micro por unas macro. Aquí contamos con un equipo 3518 y lo que nos da pérdidas son los coaxiales. Una opción es mover las cabezas remotas hasta donde estén las antenas, de esta manera podríamos ahorrar cable coaxial. Otra opción sería colocar unas antenas por ejemplo Rymsa TTD3-600TV que nos darán una ganancia de 17 dBi en vez de 12. Otra opción sería colocar otras tres antenas pequeñas pero independientes del otro operador. Esta última opción es más discreta que la anterior, así que veamos que ocurre y si las mejoras serían apreciables fácilmente[Figura 4.x, Figura 4.x, Figura 4.x, Figura 4.x, Figura 4.x, Figura 4.x].

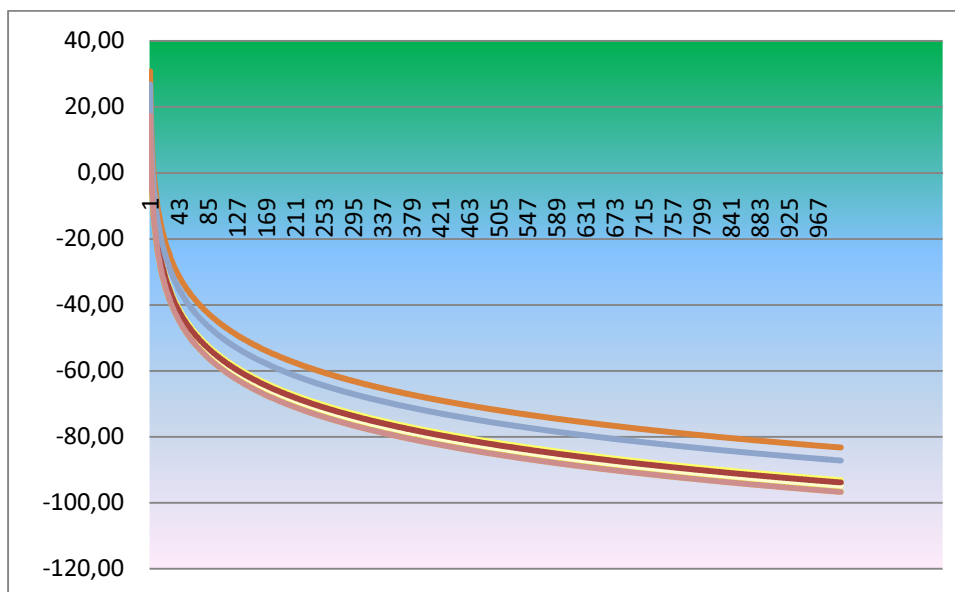


Figura 6.8 Potencia recibida en el MS para Lori,0,35

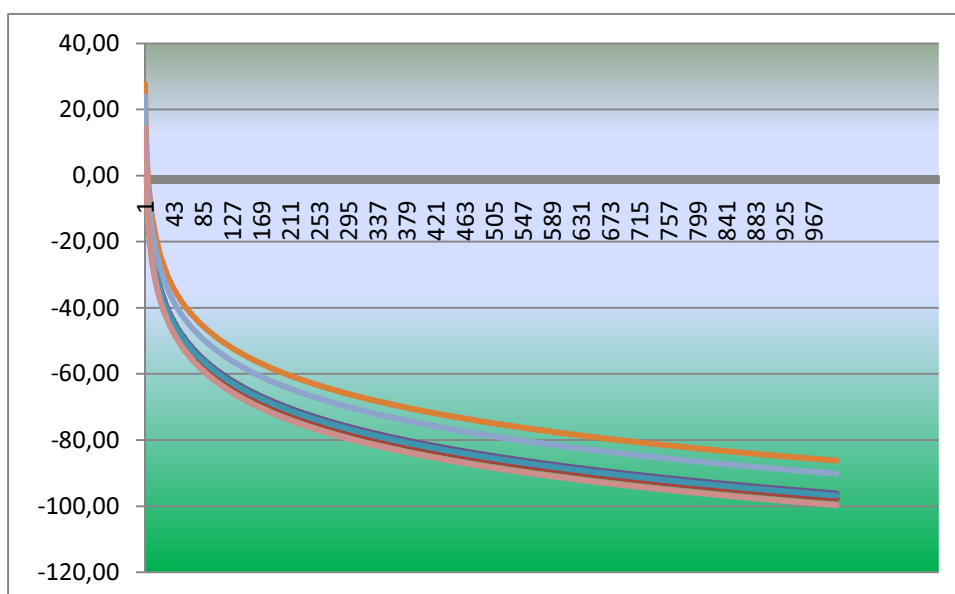


Figura 6.9 Potencia recibida en el BTS para Lori,0,35



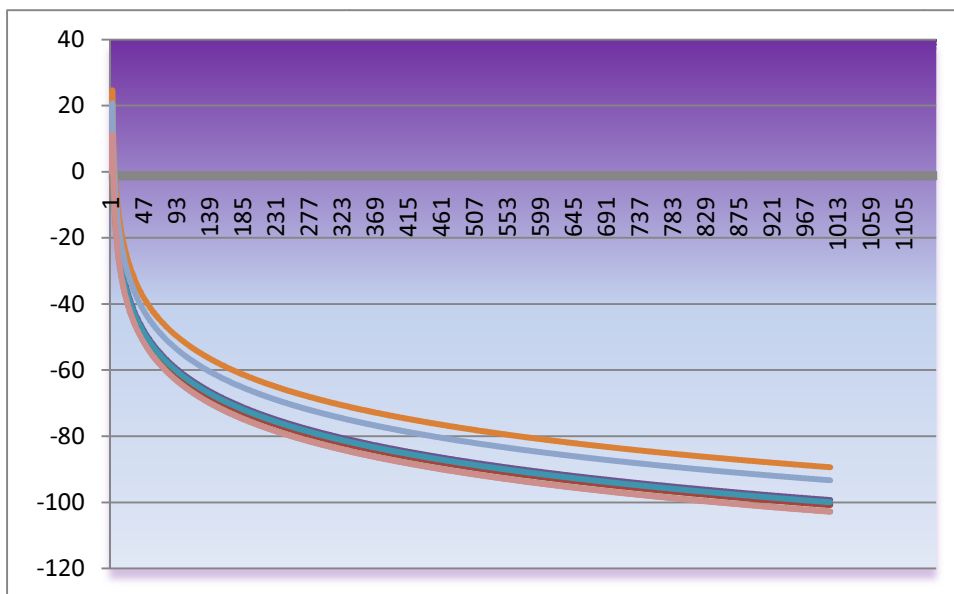


Figura 6.10 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

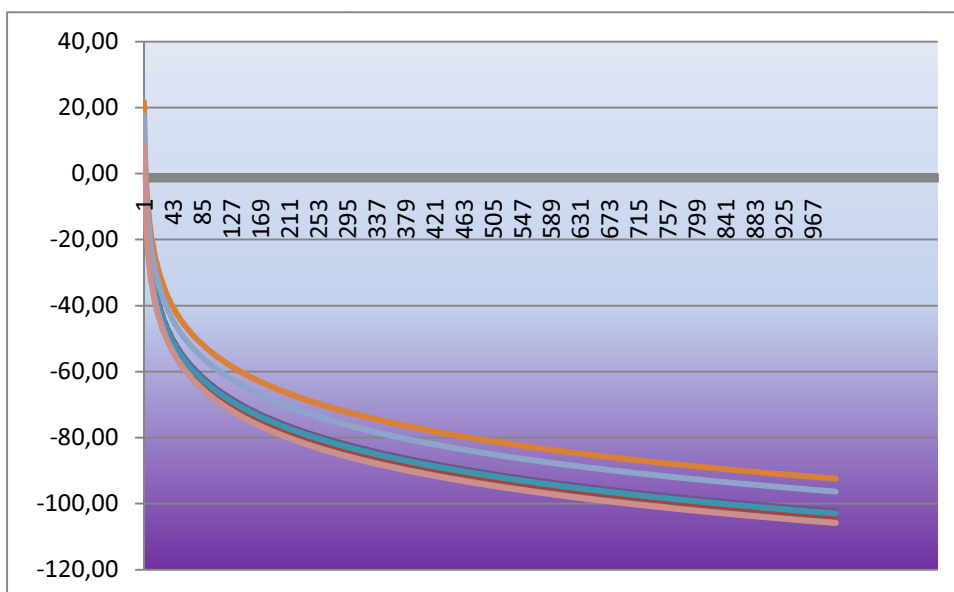


Figura 6.11 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55



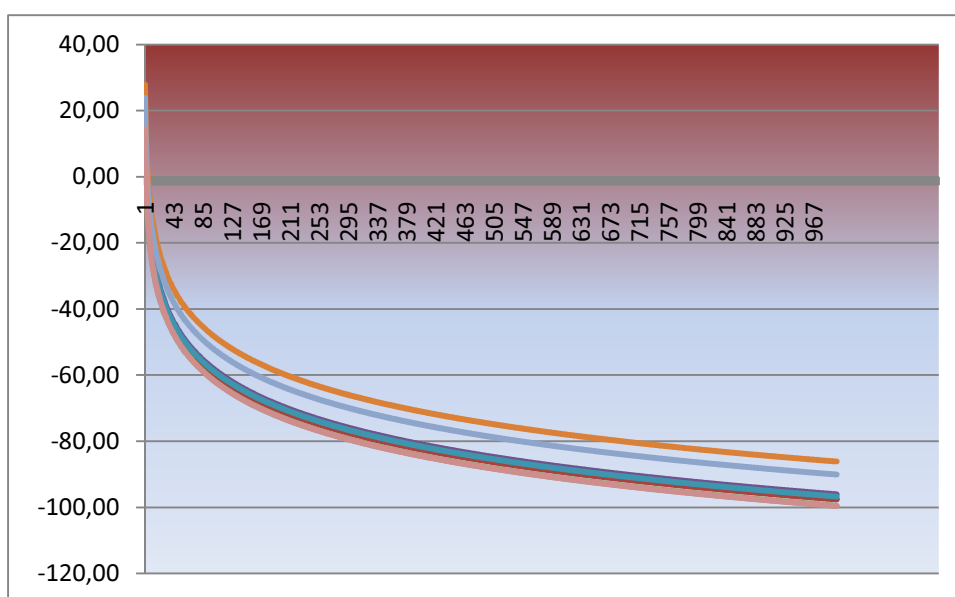


Figura 6.12 Potencia recibida en el MS para LORI>55

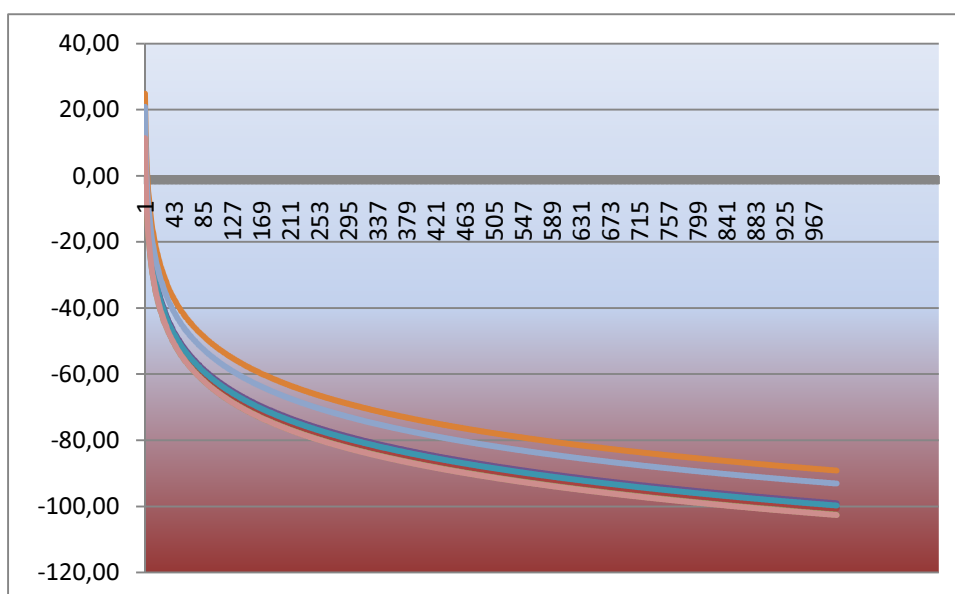


Figura 6.13 Potencia recibida en el BTS para LORI>55

Como podemos observar los cambios van a ser casi inapreciables, aumentaríamos el radio de cobertura unos diez metros aproximadamente. La inversión que necesitaríamos para realizarlos tampoco es demasiada. El equipo que está puesto tiene buena capacidad de gestión de llamadas y cantidad, así que aun a falta de mejorar mucho la cobertura se podría realizar.

Ahora veamos si realmente sería interesante este cambio, tenemos varias estaciones cerca, sabemos cuál es su potencia y la sensibilidad. Así que vamos a ver si realmente necesitamos



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

los cambios. Porque estamos proponiendo cambios que aumentan el radio de cobertura pero si las células ya están bien estructuradas y se solapan las unas con las otras, igual no necesitamos realizar ningún cambio, o nos hace decantarnos más por unos o por otros.

Vamos a ver que sucede con las células gráficamente,



Figura 6.14 La célula que nos proporciona CORTES para UMTS con Lori de 35° a 55° .



Figura 6.15 Células de CORTES y MAISSONAVE, para UMTS con Lori de 35° a 55° .

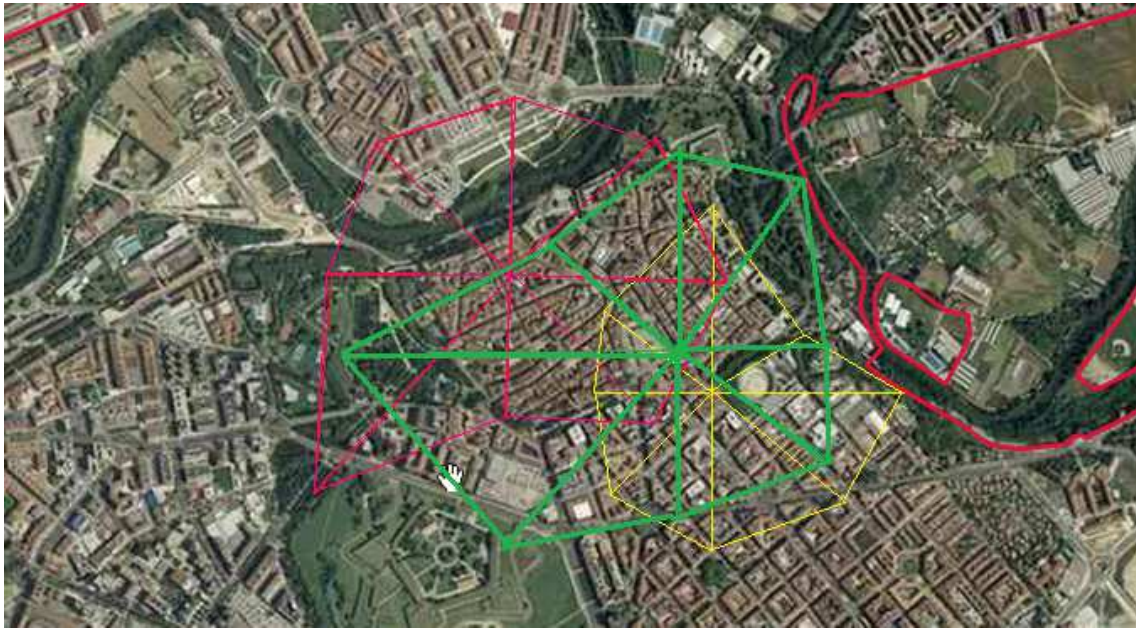


Figura 6.16 Células de CORTES, CASINO, MAISSONAVE, para UMTS con Lori de 35° a 55°.

6.4. ESLAVA

En esta estación hemos optimizado todos los recursos de los que deponíamos, las tiradas de cable buscan el menor recorrido, no se combinan señales, no existen otros operadores, hemos puesto antenas potentes, así que en principio, no podríamos mejorar nada. A no ser que nos dejarían poner equipos de exterior o poner una EB-5 en la terraza, de esta manera tendríamos una tirada de cable de aproximadamente siete metros. Esto en principio es inviable, lo primero porque los dueños del edificio, no están de acuerdo. Y lo segundo porque presentaría una inversión en obra específica y asociada muy elevada, para mejorar algo que ya funciona bien. Tal y como hemos observado las graficas reflejan buenos niveles, para los cuales solo superamos el nivel de sensibilidad a distancia superiores a quinientos metros. No introduciría ningún cambio en esta estación. Creemos que esta estación no es susceptible de cambios.

6.5. MAISSONAVE

Aquí tenemos más o menos el mismo caso que en Cortes, solo que las antenas utilizadas en este emplazamiento tienen una ganancia ligeramente mayor.

Viendo los planos de la estación, los equipos no se pueden colocar más cerca de las antenas, con lo que no reduciremos las pérdidas del cable. Si realizamos una comparativa entre las antenas que estamos usando [Tabla 4.x], la K-742265 (antena del maissonave), con la TTD3-800TV, veremos cómo aunque nos da más ganancia la primera para las frecuencias de 1710-2180 MHz, la TTD3 nos ofrece la posibilidad de no tener que diplexar la señal, es decir evitar una pérdida de tres dB.

	880-960 MHz	1710-1880 MHz	1920-2180 MHz
Gain K-742265 (dBi)	16 dBi	17.8 dBi	18.3 dBi
Gain TTD3-800TV (dBi)	16.6 dBi	17 dBi	17.1 dBi

Tabla 5.11 Comparativa de la ganancia de antenas.



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

En UMTS tendríamos con la ttd3 perderíamos 1,2 dBi , pero compensaríamos con los tres que quitaríamos del diplexor[Tabla 4.x]. Y tendríamos una nueva tabla de características para la estación [Tabla4.x].

	Perdidas conectores (dB)		Perdidas cable (dB)		Perdidas elementos auxiliares (dB)	TOTAL (dB)
	CONECTORES	DESCARGADORES	1/2	7/8		
UMTS	1.2	0.1	1.03	1.78	0	4.11
DCS	1.2	0.1	1.03	1.44	3+3	9.77
GSM	1.2	0.1	1.03	1	3+3	9.33

Tabla 5.12 Las pérdidas en el recorrido de la señal hasta las antenas.

	GSM	DCS	UMTS
Potencia BTS	33,01	33,01	33,01
Potencia MS	43,01	43,01	30,00
Gantena BTS	16	17	17.1
Gantena MS	1	1	1
Lcable BTS	9,33	9.77	4.11

Tabla 5.13 Características propias de la estación

Aun no tratándose de una mejora sustancial creo que supondría ampliar unos metros el radio en el que no superemos la sensibilidad [Figura 4.x, Figura 4.x].



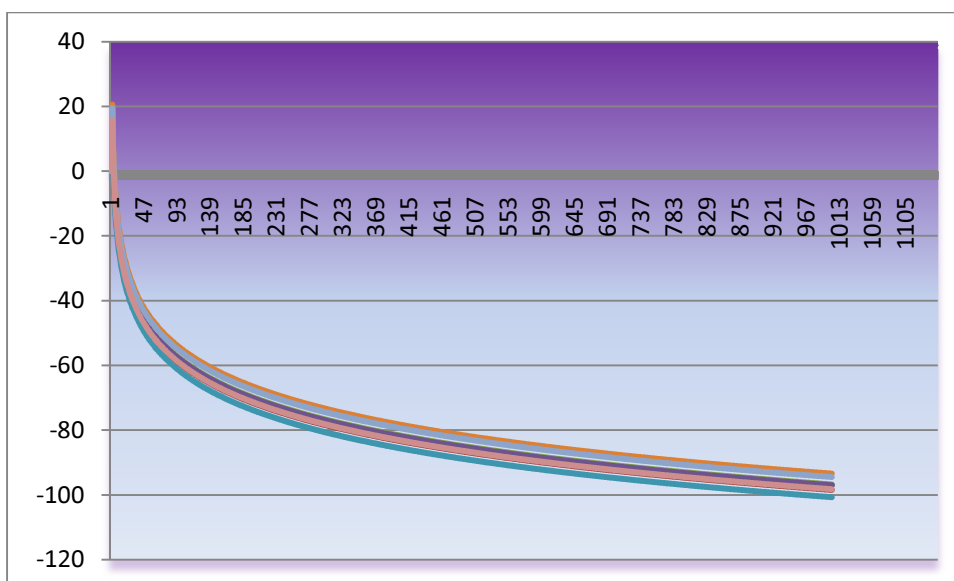


Figura 6.17 Potencia recibida en el MS para Lori,35,55

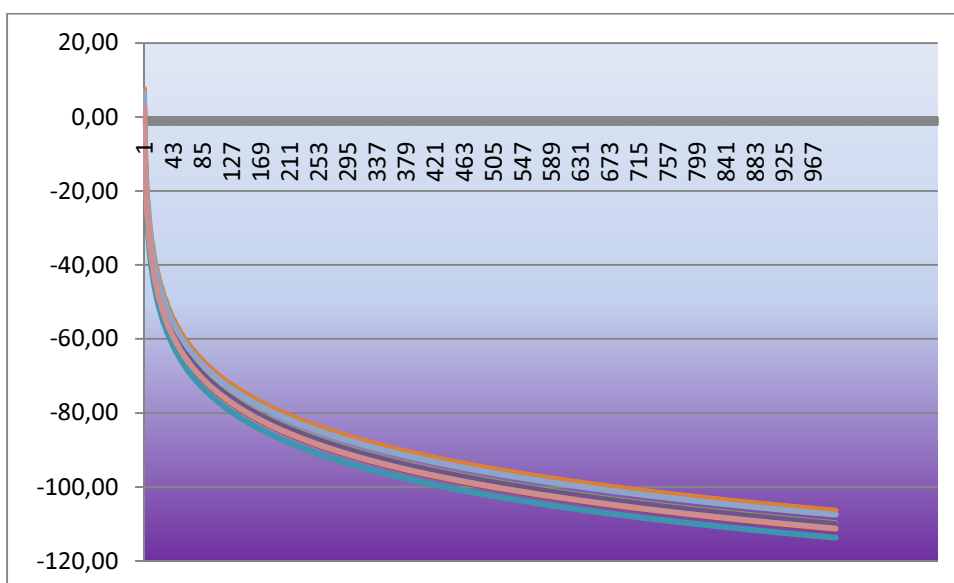


Figura 6.18 Potencia recibida en el BTS para Lori,35,55

Como podemos observar, si comparamos con las graficas que hemos obtenido antes no se distingue con certeza la mejoría, pero si nos vamos a las matrices podemos ver que, antes de los cambios la sensibilidad llegaba a niveles críticos a los 397 metros en la radial de 45° para DCS y ahora en cambio el limite lo encontramos a 439 metros esto quiere decir que hemos ampliado el radio de cobertura 42 metros de cobertura.



6.6. TUDELA

En esta estación sí que nos resulta difícil proponer cambios, la tirada de cable es mínima, las antenas tienen bocas suficientes para cada tecnología, tenemos las tres tecnologías, no existen elementos auxiliares de radio frecuencia. La estación está en una azotea que es la más elevada de la zona. No encuentro una manera mejor de colocar una estación base en medio urbano.

7. CONCLUSIONES

Necesitamos calcular el balance de enlace en ambos sentidos para poder determinar el radio de cobertura que nos proporcionara cada estación. Todos los elementos que intervienen en el balance determinaran la distancia de los radios:

1º Cada estación tiene unas características diferentes que dependen de los elementos que la componen y estos hacen variar los radios de cobertura.

2º Cada sector de cada estación nos proporciona unos perfiles diferentes y únicos, esto también hace variar las radiales de cobertura.

3º Cada tecnología posee unas características diferentes que hacen variar la distancia del radio de cobertura.

Para que el estudio seria mas real necesitaríamos incluir el estudio de capacidad, es decir, calcular el número de llamadas que puede gestionar una estación base.

Para poder incluir en el estudio la cobertura de dentro de los edificios deberíamos restar al nivel de cobertura existente en la calle las pérdidas de penetración del edificio. Estas varían dependiendo de los materiales de los que este hecho el edificio.

ESTACION	COMENTARIOS	MEJORAS
PAULINO	<ul style="list-style-type: none">-Topología sectorial homogénea, sin saltos en la altitud. Gran cantidad de edificios.-Antena en el tejado y sala equipos en la planta baja, así que las perdidas por el cable son lo más representativo.-Diplexado el DCS, con lo que el radio empeora considerablemente: <p>UMTS: radio de cobertura 750m en el peor de los casos.</p> <p>GSM: radio de cobertura 750m en el peor de los casos.</p> <p>DCS: radio de cobertura 481m en el</p>	<p>Cambiamos las antenas por unas TTD3-600TV, que nos proporcionara una ganancia de 3dB mas para el DCS. Con esto aumentamos unos seis metros el radio.</p> <p>No se pueden poner unas antenas con más bocas, por el peso que ejercería las antenas sobre el mástil.</p> <p>Tampoco se puede reducir los metros de cable.</p>



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

	peor de los casos.	
CORTES	<p>Radios de cobertura bastante malos, debido a la cantidad de operadoras que comparten las antenas y la distancia de cable.</p> <p>UMTS: radio de cobertura 425m en el peor de los casos.</p> <p>GSM: radio de cobertura 500m en el peor de los casos.</p> <p>DCS: radio de cobertura 379m en el peor de los casos.</p>	<p>Colocamos unas antenas un nivel por debajo de las existentes y colocamos en estas a los otros operadores.</p> <p>De esta manera ganamos 6dB de ganancia por tecnología. Lo que nos lleva a aumentar el radio en unos 100m aproximadamente</p>
TUDELA	<p>Estación modelo:</p> <p>Tenemos una caseta EB-5 (sala de equipos estandarizada) a unos seis metros de la antena.</p> <p>La EB se encuentra en el punto más alto de la zona.</p> <p>Las Antenas tienen bocas para cada tecnología.</p>	No se proponen cambios.
ESLAVA	<p>Estación muy bien optimizada:</p> <p>-Las tiradas de cable recorren la distancia mínima entre las antenas y los equipos.</p> <p>-La antenas TTD3-600TV, nos dan muy buena ganancia.</p> <p>-Las tecnologías van entiradas independientes no hay necesidad de unir señales.</p> <p>Los radios de cobertura obtenidos:</p> <p>-UMTS: radio de cobertura 631m en el peor de los casos.</p> <p>-GSM: radio de cobertura 600m en el peor de los casos.</p>	<p>La mejora de esta estación pasaría por la colocación de equipos de exterior o una EB-5 en la terraza.</p> <p>Esta solución conlleva mucha inversión de dinero y necesitamos que los propietarios del inmueble quieran colocar estos equipos en la terraza.</p>



ESTUDIO Y MEJORA DE COBERTURA EN PAMPLONA

	-DCS: radio de cobertura 500m en el peor de los casos.	
MAISSONAVE	<p>Se trata d un mástil en un tejado con equipos de exterior a unos 15 m. El punto débil se encuentra en las antenas K742265, que tienen cuatro bocas y esto nos obliga a diplexar DCS y UMTS.</p> <p>Los radios de cobertura obtenidos:</p> <p>-UMTS: radio de cobertura 400m aproximadamente en el peor de los casos.</p> <p>-GSM: radio de cobertura 700m aproximandamente en el peor de los casos.</p> <p>-DCS: radio de cobertura 400m en el peor de los casos.</p>	<p>Cambiamos las antenas por unas TTD3-800TV que nos proporcionan seis bocas, dos para cada tecnología. De esta manera podemos quitar el diplexor.</p> <p>La ganancia que nos proporcionan es menor que con las anteriores.</p> <p>Observamos que el radio de cobertura aumenta en unos 50 m.</p>
CASINO	<p>Esta estación posee un solo equipo de UMTS, así que nos hemos centrado en estudiar las diferencias que pueden existir entre los sectores de una EB, cuando estos no se encuentran sobre un mismo mástil o torre.</p> <p>Las distancia de cable para las antenas son 11m, 7,5m y 6m para Antena 1, Antena 2 y Antena 3.</p> <p>Podemos observar que la diferencia en las radiales, de las diferentes antenas, no varía por la distancia del cable.</p> <p>El elemento que más influye es la topología del terreno.</p> <p>Lo que más influye es la topología sectorial.</p>	<p>Se propone la colocación de dos antenas más tipo Moyano 1743, para no tener que dilexar la señal.</p>



8. BIBLIOGRAFIA

- [1] “Comunicaciones Móviles” de José María Hernando Rábanos
- [2] Hojas de especificaciones de antenas de Kathrein, ryma ECOW
- [3] Hojas de especificaciones de elementos auxiliares de Radiofrecuencia: Egant, Kathrein , Ifacom
- [4] Hojas de especificaciones de los Equipos Nokia, Ericsson.
- [5] Documentación de las estaciones proporcionada por operadora de telefonía móvil.
- [6] “Principios de Comunicaciones Móviles “de Oriol Sallent Roig, José Luis Valenzuela González y Ramón Agustí Comen
- [7] Explain from Nokia
- [8] SYSTRA 4.0 GSM System Training from Nokia
- [9] Conceptos Básicos de Redes Móviles y UMTS de Ericsson
- [10] Introducción a las Comunicaciones móviles de Ericsson
- [11] Guía para la búsqueda de emplazamientos de Ericsson
- [12] Manual de GSM de Ericsson
- [13] Pfc Sistemas de Telecomunicaciones Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior

